

UNIVERSIDADE DE LISBOA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO



***THE COASTAL HAZARD WHEEL* APLICADA AO ARCO LITORAL
CAPARICA-ESPICHEL NO QUADRO DAS ALTERAÇÕES
CLIMÁTICAS**

ANDRY MARCEL PÃO CASTRO

Dissertação orientada por
Prof.^a Doutora Ana Ramos Pereira

Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território

2018

Universidade de Lisboa
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**The Coastal Hazard Wheel aplicada ao arco litoral Caparica-Espichel no
quadro das alterações climáticas**

Andry Marcel Pão Castro

Dissertação orientada pela Prof.^a Doutora Ana Ramos Pereira

Júri:

Presidente: Professor Doutor Ricardo Alexandre Cardoso Garcia do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa

Vogais:

- Professor Doutor Rui Pires de Matos Taborda do Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
- Professora Doutora Ana Paula Ribeiro Ramos Pereira do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa

2018

Serve a presente página para agradecer a todas as pessoas que contribuíram de forma direta e indireta, para a realização da presente dissertação.

Os primeiros agradecimentos vão para duas pessoas que, de formas distintas, foram as pessoas mais importantes ao longo deste processo, não só durante a realização da dissertação, mas também ao longo do meu percurso académico. Uma delas é a minha querida avó Cristina, falecida a 25 de abril de 2018, que foi quem mais contribuiu para o meu crescimento enquanto cidadão e para o meu percurso académico e particularmente para o desenvolvimento desta dissertação. Dedico-lhe todas as palavras redigidas neste documento com muito amor, carinho e saudade. Agradeço também à minha orientadora, Prof^a Doutora Ana Ramos-Pereira, uma pessoa que sempre admirei, não só pelo seu vasto conhecimento dentro da geomorfologia, mas também pela forma entusiástica como o transmitia aos alunos, já desde o tempo da licenciatura onde tive a oportunidade de ter, com ela, quatro unidades curriculares. Um agradecimento profundo a todo o tempo despendido para me motivar, ajudar, aconselhar de entre a sua agenda muito exigente. Exigência foi também uma característica que sempre me habituei a ter com a professora. É com este tipo de pessoas que vale a pena continuar a aprender e crescer.

Um agradecimento inevitável à minha mãe e pai que também contribuíram para a minha educação e formação académica.

Agradeço também à Ana Gonçalves, pela amizade, pelo amor, paciência, companheirismo, entreajuda e motivação, não só ao longo da dissertação, mas também ao longo destes quase quatro anos de união. Foi sem dúvida um pilar.

Aos meus amigos, os residentes “das ilhas mais belas e livres”, lema da região autónoma onde descansava após semestres de muito empenho, estudo e trabalho. Foram importantes porque com eles, distraía-me um pouco do trabalho e da exigência da vida académica. Um obrigado Miguel Saldanha, Marcelo Fidalgo, Pedro Duarte, Ricardo Rodrigues e Carlos Silva. Agradecer também às amigas criadas em Lisboa, particularmente à Sara Lopes, Silvana Mesquita, Márcia Matias, pelo companheirismo e entreajuda, e a todos os restantes nomes que possam estar a ser esquecidos.

Um agradecimento a todo o júri pela arguência e pelos comentários e sugestões construtivos, especialmente ao professor Ricardo Garcia por toda a ajuda prestada.

Esta dissertação é o reflexo de todo um percurso académico, e como tal agradeço a todos os professores do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade

de Lisboa (IGOT-UL), em particular ao corpo docente com quem lidei de perto, os professores da geografia física, os quais considero serem os melhores e mais competentes profissionais nesta área. O agradecimento é extensível ao próprio IGOT, pelo acolhimento e melhoria das condições de trabalho, lugar onde sempre me senti bem.

O litoral é amplamente reconhecido como um território perigoso já que, para além dos processos normais da dinâmica litoral, ocorrem também fenómenos hidrodinâmicos que podem ser considerados perigosos. A eles se associam os efeitos do atual período de alterações climáticas, induzido em parte pela ação antrópica. Este período quente tem levado à subida do nível médio do mar desde a segunda metade do século XIX/início do século XX, sendo que as projeções futuras indicam a manutenção da tendência de subida (IPCC, 2013).

Perante este cenário, a avaliação da perigosidade costeira no contexto das alterações climáticas é pertinente no âmbito do ordenamento do território. Assim sendo, a presente dissertação pretende proceder à avaliação da perigosidade costeira no arco litoral Caparica-Espichel no contexto das alterações climáticas através da adaptação da metodologia *The Coastal Hazard Wheel 3.0* (Appelquist, 2013; Appelquist *et al.*, 2015; Appelquist *et al.*, 2016). Para isso, a adaptação da *CHW 3.0* à escala da área de estudo considerou as seguintes variáveis: sistemas litorais, exposição às ondas, amplitude de maré, balanço sedimentar e exposição a temporais. A adaptação permitiu obter a *CHWmf* – uma ferramenta de gestão que sintetiza a informação sobre ambientes costeiros e respetivos perfis de perigo.

Sendo assim, a *CHWmf* possibilitou a individualização de 13 ambientes costeiros diferenciados, um mapa de sistemas litorais, e duas avaliações de perigosidade a dois perigos específicos, a saber, a erosão costeira e as inundações associadas a temporais. A *CHWmf* revelou uma predominância de ambientes costeiros associados a sistemas litorais com duna, em diversos estados de conservação e que representam cerca de 44% da linha de costa. Foi também possível verificar que 60% da linha de costa apresenta um balanço sedimentar erosivo. Verifica-se ainda uma linha de costa que está em 76% exposta a temporais de oeste, sudoeste e noroeste.

As avaliações de perigosidade demonstram que 28% do território apresenta probabilidade de ocorrência de erosão costeira elevada, 51% do território apresenta perigosidade moderada e 21% tem uma probabilidade baixa. Também revelam que 25% da linha de costa apresenta perigosidade a inundações por temporais muito elevada, 18% apresenta perigosidade elevada, 22% perigosidade moderada e a perigosidade baixa e nula representam 12% e 22% respetivamente.

Este estudo apresenta uma ferramenta que pretende ser um todo em um, numa tentativa de demonstrar a sua utilidade na gestão e ordenamento do território à escala local.

Palavras-Chave: Perigosidade; Litoral; *CHW 3.0*; *CHW_{mf}*; Arco litoral Caparica-Espichel

The coast is widely recognized as a dangerous territory because, besides the normal processes of coastal dynamics, there are hydrodynamic phenomena that can be considered dangerous. To these phenomena are associated the effects of the climate change, induced in part by anthropic action. This warm period has led to the rise of the mean sea level since the second half of the nineteenth century / early twentieth century, and future projections indicate the continuing trend of rise (IPCC, 2013).

Therefore, the assessment of coastal hazards in the context of climate change is relevant in spatial planning. Thus, the aim of this dissertation is to evaluate the coastal hazards in the Caparica-Espichel coastal arch in the context of climate change through the application/adaptation of the methodology “*The Coastal Hazard Wheel 3.0*” (Appelquist, 2013, Appelquist *et al.*, 2015, Appelquist *et al.*, 2016). To this purpose, the downscaling of *CHW 3.0* to the study area need adaptation. The variables considered are: coastal systems, wave exposure, tidal range, sediment balance and storm exposure. The adaptation allowed to obtain the *CHWmf* - a management tool that synthesizes information about coastal environments and their hazard profiles.

Thus, *CHWmf* allowed the individualization of 13 distinct coastal environments, a mapping of coastal systems, and two assessments of hazards: coastal erosion and floods associated with storms. The *CHWmf* revealed an area with great weight of the coastal environments with dune in diverse states of conservation. About 44% of coastline is associated coastal environments with dune. It was also possible to verify that 60% of the coastline presents an erosive sedimentary balance. There is also a coastline that is 76% exposed to storms of the west, southwest and northwest.

The hazard assessments show a territory with a high probability of occurrence of coastal erosion of 28%, moderate of 51% and a low probability of 21%. Also shows that the very high probability of flood occurrence is 25%. The high probability of occurrence is 18%, moderate probability is 22% and low and null represent 12% and 22% respectively.

This study presents a tool that intends to be a whole in one, an attempt to demonstrate the usefulness of this tool in the management and planning of the territory, at the local scale.

Keywords: Hazard; Coast; *CHW 3.0*; *CHWmf*; Coastal arch Caparica-Espichel

Agradecimentos	I
Resumo	III
Abstract	V
Índice	VII
Índice de figuras	IX
Índice de quadros	XI
Capítulo I - Introdução	1
1.1 Pertinência da investigação	1
1.2 Objetivos da dissertação	2
1.3 Estrutura da dissertação	3
Capítulo II – Enquadramento temático	5
2.1 Os sistemas litorais	5
2.1.1 Sistemas de praia	5
2.1.2 Sistemas de praia-duna	7
2.1.3 Sistemas de arriba e praia-arriba	8
2.1.4 Sistemas de barreira	9
2.1.5 Sistemas de praias de estuário	10
2.2 Os perigos costeiros	11
2.2.1 A desregulação de sistemas litorais	11
2.2.2 A erosão	13
2.2.3 Intrusão de água salina	18
2.2.4 Inundações súbitas	19
2.3 Ferramentas de avaliação da perigosidade e vulnerabilidade costeira	23
2.3.1 Ferramentas de avaliação da perigosidade	24
2.3.2 Ferramentas de avaliação da vulnerabilidade	26
Capítulo III – Metodologias	31
3.1 A metodologia <i>The Coastal Hazard Wheel 3.0</i>	31

3.1.1 As 6 componentes biogeofísicas	32
3.1.2 As avaliações de perigosidade.....	35
3.1.3 A associação com a ocupação/uso do solo e a matriz de opções de gestão costeira	36
3.2 Processo de adaptação e construção da <i>The Coastal Hazard Wheel_{mf}</i>	40
3.2.1 Dados e <i>softwares</i> disponíveis	40
3.2.2 Escolha e fundamentação das variáveis utilizadas.....	43
3.3 Tratamento das variáveis da <i>CHW_{mf}</i>	44
3.3.1 Definição dos sistemas litorais	44
3.3.2 Definição da exposição às ondas.....	46
3.3.3 Definição da amplitude de maré.....	48
3.3.4 Definição do balanço sedimentar.....	49
3.3.5 Definição da exposição a temporais.....	50
3.4 Determinação dos valores de perigosidade na <i>CHW_{mf}</i>	51
Capítulo IV – Área de estudo	55
4.1 Critérios de definição e delimitação da área de estudo	55
4.2 Caracterização geral da área de estudo e sistemas litorais	57
4.3 Caracterização da hidrodinâmica local: clima de agitação marítima e batimetria	60
Capítulo V – Resultados e discussão	65
5.1 A espacialização dos sistemas litorais	65
5.2 <i>The coastal Hazard Wheel_{mf} (CHW_{mf})</i>	71
5.3 Avaliação da perigosidade à erosão costeira	76
5.4 Avaliação da perigosidade a inundação associada a temporais	78
5.5 Vantagens, limitações e incertezas	82
5.6 A <i>CHW_{mf}</i> enquanto ferramenta de gestão e ordenamento do território.....	84
Capítulo VI – Conclusões	89
Bibliografia.....	91

Índice de figuras

Figura 1 - Sistema de praia de calhau (Machico, Ilha da Madeira, Portugal)	5
Figura 2 - Morfodinâmica de um sistema praia onde o tracejado corresponde a uma praia em perfil refletivo e a linha contínua corresponde a uma praia em perfil dissipativo. NMN – Nível médio do mar, NMPV – Nível do mar em preia-mar viva, NMPM – Nível do mar em preia-mar morta, NMBM – Nível do mar em baixa-mar morta, NMBV – Nível do mar em baixa-mar viva (Ramos-Pereira, 2008).....	6
Figura 3 - Exemplo de um sistema de praia-duna com um certo grau de artificialização associado na praia de São João da Caparica, Almada. A ondulação na imagem está associada à influência da depressão <i>Félix</i> em Portugal (Data da imagem: 11 de março de 2018).....	7
Figura 4 - Sistema de praia-arriba na praia de Porto Mós, Lagos (Data da imagem: 9 de dezembro de 2016)	9
Figura 5a e 5b - Sistema de barreira no Algarve. Imagens obtidas através de um veículo autónomo não tripulado em abril de 2016 numa campanha de campo (Ilha da Culatra, Portugal).....	100
Figura 6 - Degradação dunar na Fonte da Telha, Almada. (Imagens <i>GoogleEarth</i> - data das imagens: 19-6-2016);	12
Figura 7 - Extensão da área dunar na península de Tróia. (Imagens <i>GoogleEarth</i> - data das imagens: 19-6-2016);.....	13
Figura 8 - Padrões de erosão costeira na Europa – 2004. Adaptado da agência europeia do ambiente (https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/coastal-erosion-patterns-in-europe-2004)	14
Figura 9 - Taxa de variação em Portugal. Os valores em caixa são a variação média da linha de costa (Laranja - erosão; verde – acreção – Lira <i>et al.</i> 2016)	15
Figura 10 - Inundação súbita de origem tsunamigénica no Japão em 2011. Retirado de: (http://www.latimes.com/world/la-fg-japan-tsunami-before-after-slider-htlmstory.html)	20
Figura 11 - Inundação súbita com origem na tempestade <i>Hércules</i> na Costa da Caparica (Imagem do Youtube)	21
Figura 12 - Mecanismo de geração do <i>storm surge</i> e consequências para o litoral (https://tc120.wordpress.com/2014/09/20/storm-surge-a-misconception-that-can-kill-a-thousand-lives-2/)	22
Figura 13 - <i>The Coastal Hazard Wheel 3.0</i> (Appelquist <i>et al.</i> , 2016)	25
Figura 14 - Índice de vulnerabilidade costeira na Costa da Caparica (Silva <i>et al.</i> , 2017)	28
Figura 15 - Classificação da vulnerabilidade para o parâmetro da distância à costa e altimetria (Coelho <i>et al.</i> , 2006)	30
Figura 16 - 7 componentes da geomorfologia costeira, ao centro na <i>CHW 3.0</i>	32
Figura 17 - Classificação da exposição às ondas em cada ambiente costeiro	33
Figura 18 - Classificação da amplitude de maré	33
Figura 19 - As seis componentes biogeofísicas já com as variáveis flora/fauna, balanço sedimentar e o clima de tempestade.....	35
Figura 20 - <i>CHW 3.0</i> com os valores de perigosidade para cada perigo em cada ambiente costeiro.....	36
Figura 21 - Janela parcial do <i>AutoCAD 2019</i> que ilustra o processo de construção da <i>CHW_{mf}</i> . 43	
Figura 22 - Atribuição dos níveis de perigosidade aos perigos em análise dentro do <i>ArcGis 10.5</i>	54
Figura 23 – Exemplos de delimitações de sistemas litorais:	
a) Processo de delimitação de um sistema de arriba no cabo Espichel;.....	56
b) Processo de delimitação de um sistema de barreira na lagoa de Albufeira;	56

c) Processo de delimitação de uma área de praia-duna com uma área agrícola entre a área de duna e a arriba fóssil.	56
Figura 24 – Área de arriba junto ao cabo Espichel. A ondulação na imagem está associada à influência da depressão <i>Félix</i> em Portugal (Data da imagem: 11 de março de 2018)	57
Figura 25 – Altitude da área de estudo.....	58
Figura 26 – Declive da área de estudo.....	59
Figura 27 – Sistema de praia-arriba na praia das Bicas (Data da imagem: 11 de março de 2018)	60
Figura 28 – Regimes de ondulação:	
a) de noroeste na costa ocidental portuguesa associado à depressão <i>Irene</i> a 16 de abril de 2018 (Fonte: IPMA)	61
b) de noroeste na costa ocidental portuguesa associado à depressão <i>Hugo</i> a 24 de março de 2018 (Fonte: IPMA)	61
c) de oeste na costa ocidental portuguesa associado à depressão <i>Félix</i> a 11 de março de 2018 (Fonte: IPMA)	61
d) de oeste na costa ocidental portuguesa associado à depressão <i>Gisele</i> a 14 de março de 2018 (Fonte: IPMA)	61
e) sudoeste na costa ocidental portuguesa associada à depressão <i>Emma</i> a 1 de março de 2018 (Fonte: IPMA);	61
Figura 29 – Batimetria da área junto ao arco litoral Caparica-Espichel.....	63
Figura 30 – Sistema de praia-duna artificializada junto à Cova do Vapor. A ondulação na imagem está associada à influência da depressão <i>Félix</i> em Portugal (Data da imagem: 11 de março de 2018)	65
Figura 31 – Sistemas litorais no arco litoral Caparica-Espichel.....	66
Figura 32 – Sistema de praia-duna destruída junto ao parque de campismo da praia da Saúde (Data da imagem: 8 de junho de 2018)	67
Figura 33 – Sistemas litorais por extensão da linha de costa – Arco litoral Caparica-Espichel ..	69
Figura 34 – Sistemas litorais por área – Arco litoral Caparica-Espichel	70
Figura 35 – <i>The Coastal Hazard Wheel mf</i>	72
Figura 36 – Ambientes costeiros do arco litoral Caparica-Espichel devidamente codificados (A-1 – Ambiente costeiro de arriba 1; B-1 – Ambiente costeiro de barreira 1; PA-1 – Ambiente costeiro de praia artificializada 1; PAM-1 – Ambiente costeiro de praia-arriba morta 1; PAV-1 – Ambiente costeiro de praia-arriba viva 1; PD-1 e PD-2 – Ambientes costeiros de praia-duna 1 e 2; PDA-1 – Ambiente costeiro de praia-duna artificializada 1; PDDeg-1 e PDDeg-2 – Ambientes costeiros de praia-duna degradada 1 e 2; PDDes-1, PDDes-2 e PDDes-3 – Ambientes costeiros de praia-duna destruída 1, 2 e 3.	73
Figura 37 – Perigosidade à erosão costeira no arco litoral Caparica-Espichel (linha de costa) ..	77
Figura 38 – Perigosidade a inundações por temporais no arco litoral Caparica-Espichel (linha de costa).....	79
Figura 39 – Índice de perigosidade costeira entre o Cabo Raso e o Cabo Espichel (Jaranović, 2017)	82
Figura 40 – Ambiente costeiro PDDes-3: U130; U330; U370; Notar a grande fragmentação do campo dunar, evidenciando áreas com completo desaparecimento da duna (Data da imagem: 11 de março de 2018)	86
Figura 41 – Ambiente costeiro PD-2: U400 - sul da praia da Bela Vista. Notar a extensão de duna cinzenta e verde (Data da imagem: 8 de junho de 2018)	88

Índice de quadros

Quadro 1 – Caraterísticas que comandam os valores de perigosidade de cada ambiente costeiro (Adaptado de Appelquist <i>et al.</i> (2016))	37
Quadro 2 – Códigos do projeto europeu LUCAS (Adaptado de Appelquist <i>et al.</i> (2016))	38
Quadro 3 – Matriz de opções de gestão costeira (Appelquist <i>et al.</i> (2016))	39
Quadro 4 – Medidas de gestão de perigo costeiro (Adaptado de Appelquist <i>et al.</i> (2016))	40
Quadro 5 – Informação geográfica de base	41
Quadro 6 – Síntese da informação geográfica manipulada no processo de construção da <i>CHW_{mf}</i>	42
Quadro 7 – Exemplificação da variação da <i>H_s</i> entre estações a 11 e 12 de dezembro de 2017.46	
Quadro 8 – Exemplificação da variação sazonal da <i>H_s</i> na Costa da Caparica entre 24 de julho e 30 de julho de 2008 e entre 20 de janeiro e 26 de janeiro de 2009	47
Quadro 9 – Exemplificação da variação sazonal da <i>H_s</i> na Fonte da Telha entre 17 de julho e 23 de julho de 2013 e entre 5 de fevereiro e 11 de fevereiro de 2014	47
Quadro 10 – Matriz para avaliação da perigosidade à erosão costeira	52
Quadro 11 – Matriz para avaliação da perigosidade a inundações costeiras associadas a temporais	53
Quadro 12 – Valores percentuais associados a cada classe de perigosidade (erosão costeira) 78	
Quadro 13 – Valores percentuais associados a cada classe de perigosidade (inundações associadas a temporais)	81
Quadro 14 – Ocupação/uso do solo dos 13 ambientes costeiros	85

1.1 Pertinência da investigação

O litoral é um espaço perigoso e é reconhecido como tal! Há um amplo reconhecimento de que as áreas costeiras estão sujeitas a vários perigos associados a várias dinâmicas. A costa está sujeita a perigos de origem tectónica, de origem na interação oceano-atmosfera e com origem na atividade humana. Estes dois últimos são sensíveis às alterações climáticas e podem ser potenciados por estas, não só pela subida do nível médio do mar, mas também pela indução de fenómenos hidrodinâmicos extremos.

A temática das alterações climáticas é, no entanto, uma temática controversa na comunidade científica, não havendo consenso. Todavia, a subida do nível do mar é real, não só na atualidade como em outros períodos da história da Terra. O planeta Terra já presenciou períodos mais frios (períodos glaciários) e períodos mais quentes (períodos interglaciários), em que o nível médio do mar desceu e em que o nível médio do mar subiu, respetivamente. Atualmente, a Terra está a presenciar um episódio quente e, consequentemente, uma subida do nível médio do mar. Este episódio é conhecido na comunidade científica como período quente moderno e começou após o término da Pequena Idade do Gelo, aproximadamente a partir da metade do século XIX/início do século XX. Contudo, tem havido uma crescente contribuição do comportamento humano para a alteração que se verifica atualmente.

Os cenários futuros do IPCC (IPCC, 2013) apontam para uma subida do nível médio do mar de pelo menos 0,5 metros, podendo atingir valores próximos de 1 metro até 2100 devido ao atual período de alterações climáticas. Este cenário coloca em perigo muitas áreas costeiras do planeta, uma vez que a rebentação fazer-se-á mais próximo da linha de costa. Este facto levará ao incremento da erosão costeira (alterações no balanço sedimentar), salinização de áreas costeiras incluindo os aquíferos costeiros, e propiciará a ocorrência de inundações súbitas associadas a eventos hidrodinâmicos extremos como temporais e *storm surge* (*SNMMOM* ou simplesmente *SNM*), particularmente em áreas costeiras situadas a baixas altitudes. Associado a estes perigos está outro perigo – a desregulação de ecossistemas litorais, de que são exemplo a praia e as dunas.

Embora a subida do nível do mar seja a principal consequência das flutuações climáticas nas áreas costeiras, não é de negligenciar outras consequências a longo prazo decorrentes destas alterações. As alterações climáticas vão também provocar mudanças ao

nível da frequência e intensidade de temporais e modificações do clima de agitação marítima (Santos *et al.*, 2014). Existem estudos que admitem a possibilidade de agravamento da intensidade dos temporais até o final do século XXI, particularmente no verão e inverno, bem como um agravamento das condições de agitação marítima (Andrade *et al.*, 2006).

As especificidades do território português tornam-no vulnerável perante os cenários de subida do nível médio do mar, agravamento de temporais e do clima de agitação. O território continental possui uma vasta área costeira de cerca de 942 km, exposta aos temporais atlânticos. Ao longo dessa extensão concentra-se mais de metade da população portuguesa e grande parte da atividade económica do território. Esta tendência de litoralização da população, sobretudo no Algarve e entre o Minho e Setúbal, confere ao litoral um interesse para o estudo de perigos associado à subida média do nível do mar. Ao longo do litoral algarvio e do troço litoral Minho – Setúbal, existem áreas problemáticas do ponto de vista de alguns fenómenos potencialmente perigosos, constituindo *hotspots* de perigo costeiro. A área de Espinho, Furadouro, a área da Cova-Gala (Figueira da Foz), Esmoriz, Costa da Caparica, Quarteira e as ilhas barreira do Algarve são, no contexto português, exemplos de *hotspots* de perigo costeiro. A presença e ocupação humana é uma característica transversal destas áreas e reforça a necessidade de investigação e estudo dos perigos costeiros. No quadro do atual período de alterações climáticas, estes estudos são de extrema importância no âmbito do ordenamento do território.

1.2 Objetivos da dissertação

A presente dissertação tem com objetivo principal proceder à avaliação da perigosidade costeira no arco litoral Caparica-Espichel em contexto das alterações climáticas através da adaptação da metodologia *The Coastal Hazard Wheel 3.0 (CHW 3.0)*. Esta metodologia pretende transmitir uma visão geral e inicial do perfil de perigosidade da área de estudo. Para a concretização deste objetivo geral estão subjacentes uma série de objetivos secundários que permitem avaliar a perigosidade de alguns fenómenos na área de estudo. Esses objetivos são os seguintes:

- I) Adaptar a metodologia *CHW 3.0* à escala local;
- II) Proceder à identificação, individualização e espacialização dos sistemas litorais da área de estudo no quadro dessa adaptação;
- III) Identificar os parâmetros de perigosidade, a saber, exposição à ondulação, amplitude de maré, balanço sedimentar e exposição a temporais e espacializar os mais relevantes;

- IV) Aplicar a *CHW* modificada (CHW_{mf}), resultado do processo de adaptação da *CHW 3.0*;
- V) Produzir cartografia de perigosidade ao longo da área de estudo associada aos perigos escolhidos para incluir na CHW_{mf} , particularmente a perigosidade associada à erosão costeira e a perigosidade a inundação por temporais;
- VI) Avaliar a aplicabilidade da CHW_{mf} à gestão costeira no quadro das alterações climáticas;
- VII) Pôr em evidência a utilidade desta metodologia para o ordenamento e gestão do território;

1.3 Estrutura da dissertação

A dissertação encontra-se assente em seis capítulos, que visam cumprir os objetivos supracitados. Assim sendo, o primeiro capítulo pretende explicar a relevância desta dissertação, apresentar o objetivo principal e os objetivos secundários, bem como fazer referência à estrutura da dissertação. O segundo capítulo constitui o enquadramento temático, abordando não só aspetos inerentes à dinâmica litoral, mas também apresenta o estado do conhecimento sobre temáticas envolvidas no desenvolvimento da dissertação. O terceiro capítulo é a metodologia. Este capítulo aborda por um lado a metodologia em que se baseia esta dissertação, mas também trata o processo de adaptação da metodologia original¹. Dentro deste processo, apresentam-se as principais fontes de informação geográfica, procedimentos seguidos e respetiva fundamentação. Seguir-se-á o capítulo quatro, que diz respeito à área de estudo, não só os critérios que levaram à sua delimitação, mas também uma caracterização geral da área. O quinto capítulo apresenta os resultados inerentes a esta dissertação, com particular destaque para o mapa de sistemas litorais, a CHW_{mf} e o mapa de perigosidade associado a cada um dos perigos costeiros tratados. Serão apresentadas as vantagens e limitações desta investigação. Neste capítulo será abordado a questão do ordenamento do território, em que será feita a ponte entre a metodologia empregue e a gestão e ordenamento do território. O sexto capítulo apresentará as conclusões da dissertação, salientando os pontos essenciais da investigação.

¹ O seu enquadramento do ponto de vista de estado da arte será desenvolvido no capítulo II enquanto ferramenta de avaliação de perigosidade costeira. A sua descrição metodológica será explanada no capítulo III.

2.1 Os sistemas litorais

O litoral é um espaço vasto e dinâmico composto por uma grande diversidade de sistemas. A partir da leitura e interpretação dos seus traços morfológicos é possível inferir não só a sua génese como também a sua dinâmica e, para a compreensão dessa dinâmica litoral, é indispensável uma análise dos seus elementos forçadores. Assim, de entre os sistemas litorais presentes na costa portuguesa, distinguem-se sistemas de praia, sistemas de praia-duna, sistemas de arriba, sistemas de praia-arriba, sistemas de barreira e, por último, os sistemas de praias estuarinas. Todavia, existem outros sistemas litorais (Summerfield, 1991; Davidson-Arnott, 2010; Bird, 2008), mas que não estão presentes em Portugal.

2.1.1 Sistema de praia

Estes são sistemas de acumulação de sedimentos não consolidados, que podem ter a dimensão de areia fina até ao calhau (**Figura 1**), depositados por ondas e correntes (Davidson-Arnott, 2010). Este sistema é móvel, sendo que essa mobilidade está fortemente ligada a determinados elementos forçadores. As ondas, as marés e a subida eustática do mar são os principais responsáveis pela mobilidade deste sistema. Salienta-se ainda o vento como elemento forçador do regime de ondulação na parte submersa, e como fator de erosão na



Figura 1 - Sistema de praia de calhau (Machico, Ilha da Madeira, Portugal)

parte emersa – processos de deflação (Ramos-Pereira, 2008).

Um sistema de praia é constituído por duas grandes componentes que importa mencionar, embora seja importante referir que este é um ponto não consensual na comunidade científica. Referem-se a praia emersa ou praia propriamente dita e a praia submersa ou pré-praia. Dentro destas duas componentes não estáticas ocorrem uma série de processos dinâmicos sintetizadas na **figura 2**, em larga medida dependentes do clima de agitação marítima (Ramos-Pereira, 2008). Este comanda o perfil de uma praia, podendo apresentar-se em perfil dissipativo, refletivo, ou ainda em diversos estádios intermédios. O perfil dissipativo é o resultado de agitação marítima mais energética, típica de inverno, podendo, no entanto, ocorrer em qualquer época do ano. A concavidade do perfil é reveladora do estádio erosivo da praia. Por contraste, o perfil refletivo é revelador de um clima de agitação marítima pouco energético, tipicamente observável no verão. Há, portanto, uma dependência direta entre a deposição e dinâmica de sedimentos nas praias e o clima de agitação marítima (Ramos-Pereira, 2008).

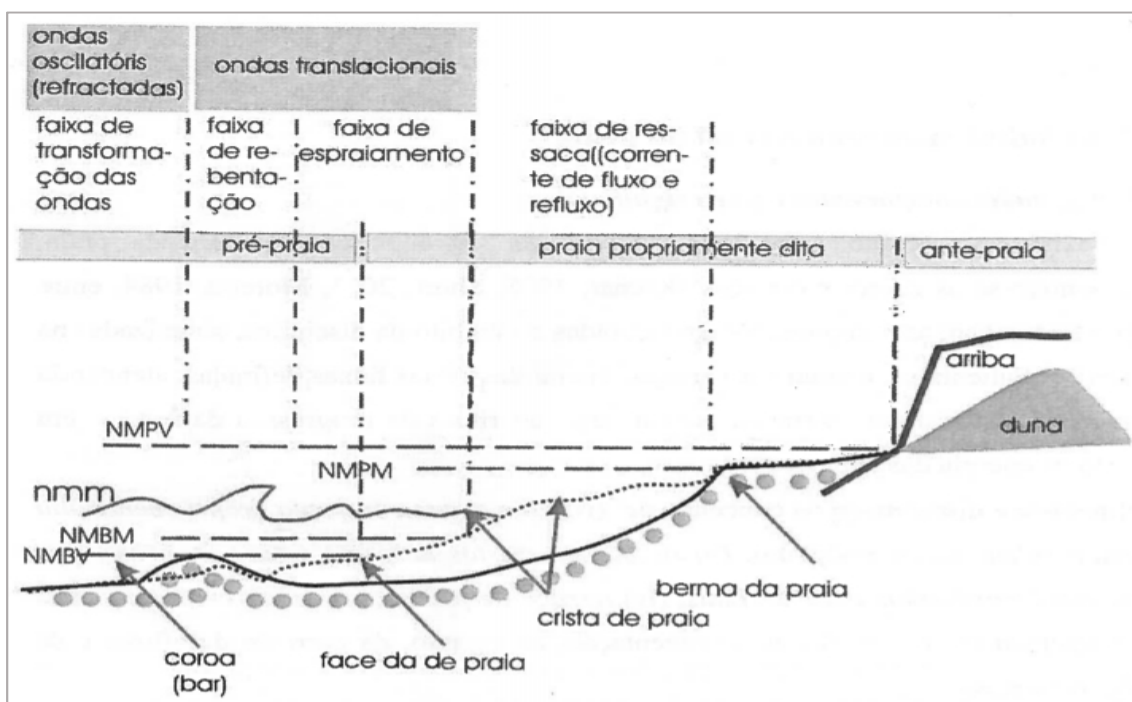


Figura 2 - Morfo-dinâmica de um sistema praia onde o traçado corresponde a uma praia em perfil refletivo e a linha contínua corresponde a uma praia em perfil dissipativo. NMN – Nível médio do mar, NMPV – Nível do mar em preia-mar viva, NMPM – Nível do mar em preia-mar morta, NMBM – Nível do mar em baixa-mar morta, NMBV – Nível do mar em baixa-mar viva (Ramos-Pereira, 2008)

Uma vez que a energia das ondas desempenha um papel importante na morfologia da praia, é indispensável caracterizar o seu comportamento na faixa de transformação, faixa de rebentação, faixa de espraçamento e faixa de ressaca. A faixa de transformação de onda está situada entre o ponto em que se inicia a interação das ondas de circulação livre com o fundo e

a faixa de rebentação (Trindade, 2010). A faixa de rebentação corresponde à faixa onde a onda ganha instabilidade e quebra, ao passo que a faixa de espraio está associada a ondas “rebentadas e ondas em rebentação” (Ramos-Pereira, 2008:61) onde há uma redução da energia das ondas. Por último, existe a faixa de ressaca. Esta faixa é afetada por correntes de afluxo e refluxo que desempenham um importante papel na forma da face da praia.

2.1.2 Sistema de praia-duna

O sistema de praia-duna acrescenta ao sistema anterior um importante mecanismo de proteção aos efeitos erosivos do mar – as dunas (**Figura 3**). As praias e as dunas constituem sistemas de forte dinamismo e interdependência devido à troca constante de sedimentos entre um e outro que são realizadas pelo vento (Bird, 2008), elemento forçador preponderante nos processos de acumulação. São sistemas tão interdependentes que Ramos-Pereira (2004:36) salienta que “o desaparecimento de uma das partes leva ao desaparecimento da outra”.



Figura 3 - Exemplo de um sistema de praia-duna com um certo grau de artificialização associado na praia de São João da Caparica, Almada. A ondulação na imagem está associada à influência da depressão *Félix* em Portugal (Data da imagem: 11 de março de 2018)

Para além de serem um espaço biofísico vulnerável face à erosão marinha, acrescenta-se o seu valor cénico e um valor ecológico considerável, na medida em que coexistem várias espécies de flora, fundamentais para a manutenção deste ecossistema. Uma dessas espécies é a *Ammophila arenaria* que é tida como uma espécie importante na construção, desenvolvimento e manutenção da duna frontal (Laranjeira & Ramos-Pereira, 2013).

Desempenham ainda importantes funções ao nível da proteção e recarga dos aquíferos costeiros.

Colocando de parte os seus valores e vulnerabilidades, importa referir que o mecanismo de construção das dunas resume-se à deposição eólica de sedimentos arenosos. A deposição ocorre com a diminuição da velocidade do vento, tendo a vegetação dunar um papel importante no processo de acumulação (Davidson-Arnott, 2010). O vento é um fator importante tanto em termos de velocidade como ao nível da orientação, transportando a areia por suspensão, reptação e saltação. Todavia, a mobilidade da areia e deposição entre a praia e a duna não depende apenas do vento. Outros fatores como a precipitação e humidade também desempenham um papel importante. Estes dois elementos contribuem para a existência da vegetação dunar, possibilitando o aumento da rugosidade topográfica e diminuindo a velocidade de fluxo. Por fim, salientam-se o balanço das correntes de afluxo e refluxo e as variações da energia das ondas ao longo das estações que vão determinar extensão da superfície de deflação (Ramos-Pereira, 2008).

2.1.3 Sistema de arriba e de praia-arriba

O sistema de arriba corresponde a um degrau de declive acentuado, que carece de vegetação, modelada ou não no sopé por processos marinhos e na parte restante por processos continentais (Ramos-Pereira, 2008). É uma forma litoral de erosão e a sua evolução é comandada por vários processos e fatores condicionantes. De entre os processos referem-se a ação das ondas, a meteorização e a ação biológica (Neves, 2004). A ação das ondas inclui tanto a ação hidráulica como a ação mecânica (Sunamura, 1992). A meteorização é o conjunto de processos que contribui para a alteração e fragmentação da rocha, levando à diminuição da sua resistência. Existem também processos inerentes à atividade biológica, nomeadamente o papel das espécies na construção e destruição da rocha (Neves, 2004). Salientam-se ainda processos como os movimentos de vertente e a erosão hídrica.

A estes processos acrescentam-se os fatores condicionantes. O trabalho de Neves (2004) sintetiza cinco grandes fatores: fatores geomorfológicos, climáticos, hidrológicos, biológicos e antrópicos. De entre os fatores geomorfológicos referem-se a localização, linearidade e orientação da linha de costa, a morfologia, a litologia, a textura e a estrutura. Sunamura (1992), considera que o material da arriba é tido como fator primordial no processo erosivo, sobretudo a litologia e as descontinuidades da rocha (falhas, fendas, planos de estratificação e fraturas). De entre os fatores climáticos, a temperatura, o vento e a humidade são elementos referidos em Neves (2004), assim como a precipitação. A precipitação é um fator condicionante muito relevante, já que desempenha um papel em várias “frentes”. A

precipitação atua na erosão hídrica, em processos químicos como a dissolução do calcário e é um fator preponderante no desencadeamento de movimentos de vertente. De entre os fatores hidrológicos é referido o escoamento sub-aéreo e sub-superficial, a ondulação e marés. Os fatores antrópicos estão associados com a atividade humana no topo das arribas e à inst/estabilização de arribas.

Em suma, o processo erosivo marinho das arribas resulta do balanço entre a força das ondas (processo) e a resistência do material da base da arriba (fator), sendo que “a intensidade destes dois elementos determina se a erosão ocorre ou não” (Sunamura, 1992:75). Quando a força das ondas é maior que a resistência da arriba ($F_w > F_r$), desencadeia-se um processo de erosão. Quando se verifica a situação contrária ($F_w \leq F_r$), não existe processo erosivo. O trabalho de Sunamura (1992) considera que o equilíbrio deste tipo de litoral tem em conta não apenas a ação marinha de sopé, mas também de outros processos erosivos que possam ter influenciado o recuo da linha de costa.

O sistema de praia-arriba (**Figura 4**) é um sistema cujo limite interior da praia é constituído por uma arriba. Por vezes a base da arriba é constituída por um talude de areias eólicas, que pode conter vegetação halófita, ou um talude de blocos resultantes da própria evolução da arriba.



Figura 4 - Sistema de praia-arriba na praia de Porto Mós, Lagos (Data da imagem: 9 de dezembro de 2016)

2.1.4 Sistema de barreira

O sistema de barreira (**Figura 5a e 5b**) são sistemas formados a partir de bancos de areia ou cordões arenosos depositados por correntes de deriva que podem ou não estar

ancorados em terra. Comportam praias e dunas, e frequentemente a formação de lagunas para o lado do continente, encontrando-se em contacto com o mar através das barras. Corresponde a um litoral baixo e arenoso e, por isso, são ecossistemas sensíveis, dinâmicos e sujeitos a rápidas modificações. Essas alterações estão associadas à dinâmica acrecionária ou erosiva imposta pelo clima de agitação marítima, ao qual se acrescentam as ações antrópicas, nomeadamente a ocupação humana de ilhas barreira que promovem o pisoteio das dunas e, consequentemente, a criação de corredores de deflação. A sensibilidade destes sistemas advém também das oscilações do nível do mar. Enquanto sistemas de baixa altitude, a subida do nível do mar torna estas áreas mais suscetíveis a sofrer galgamento oceânico, resultado de eventos hidrodinâmicos extremos. É de salientar ainda a importância da maré nestes sistemas. As ilhas barreiras ocorrem geralmente em áreas com regime de micro-maré, podendo existir em domínio de meso-maré. A sua natureza altimétrica leva a que, em condições de macro-maré (amplitudes superiores a 4 metros), um sistema barreira seja galgado, inundado, levando à desregulação do mesmo (Ramos-Pereira, 2001).

Em Portugal, o sistema lagunar de Aveiro e da Formosa, no Algarve, são os sistemas barreira mais extensos e mais conhecidos, comumente e erroneamente designados por rias. Esta questão é tratada em Daveau (1988).



Figura 5a e 5b - Sistema de barreira no Algarve. Imagens obtidas através de um veículo autónomo não tripulado em abril de 2016 numa campanha de campo (Ilha da Culatra, Portugal)

2.1.5 Sistemas de praias de estuário

Os estuários são áreas litorais de interface entre as dinâmicas marinhas e as dinâmicas fluviais, cujo assoreamento está associado aos sedimentos provenientes destas duas dinâmicas. A dinâmica fluvial transporta e deposita os sedimentos no estuário ao passo que a dinâmica marinha (marés e ondas) retrabalha e deposita os sedimentos no estuário (Nordstrom & Roman, 1996). Estas dinâmicas contribuem para processos de acumulação, particularmente o desenvolvimento de praias estuarinas, embora o estuário seja uma forma

litoral de erosão (Ramos-Pereira, 2008). A acumulação é essencialmente de sedimentos não consolidados como as areias e cascalho.

As praias estuarinas podem ocorrer na embocadura dos estuários e mais para o interior deste. A localização de praias estuarinas na embocadura revela uma maior influência da ação das ondas na morfologia destas. As praias mais interiores são geradas por ventos locais “numa situação de *fetch* restrito” (Freire *et al.*, 2008). Em praias interiores há uma maior importância da amplitude de maré, condicionando a morfologia da praia. Contudo, a disponibilidade de sedimento é, em ambos os casos, o fator primordial na génese e evolução destes sistemas litorais. As praias estuarinas, encontram-se atualmente ameaçadas pela ação humana nas margens dos estuários e, mesmo fora deste, já que determinadas obras de proteção costeira têm impactos nas praias estuarinas, não esquecendo a sua sensibilidade natural às oscilações do nível do mar.

2.2 Os perigos costeiros

O conceito de perigo (*hazard*) corresponde, segundo Julião *et al.* (2009), “ao processo (ou ação) natural, tecnológico ou misto suscetível de produzir perdas e danos identificados”. Existem vários perigos costeiros como a erosão, a intrusão de água salgada, inundações graduais, e as inundações súbitas provocadas quer por eventos tsunamigénicos, quer por temporais e *storm surge* (Appelquist, 2013). Segundo, Appelquist (2013), a desregulação de ecossistemas é também um perigo costeiro, se bem que este possa ser considerado uma consequência da atuação de outros perigos. Julião *et al.* (2009) apresenta uma metodologia para a produção de cartografia de risco de âmbito municipal para perigos semelhantes aos referidos. A nível costeiro, consideram as inundações por tsunami, inundação e galgamento costeiro, erosão costeira associada à destruição de praias e dunas, erosão costeira associada ao recuo e instabilidade de arribas.

2.2.1 A desregulação dos sistemas biofísicos

O perigo de desregulação dos sistemas biofísicos está muito relacionado com o conceito de resiliência. A resiliência de um sistema biofísico corresponde à sua capacidade de autorregulação. Um sistema biofísico ultrapassa a sua capacidade de resiliência, quando apresenta sinais generalizados, porém persistentes, de degradação. Esses sinais são indícios da incapacidade do sistema se autorregular (Ramos-Pereira & Laranjeira, 2002).

Assim sendo, a desregulação dos sistemas biofísicos corresponde à possibilidade de uma rutura/degradação do estado atual dos sistemas/ecossistemas costeiros, podendo essa rutura ocorrer, ou não, no quadro de uma mudança climática (Appelquist & Halsnæs, 2015).

Essa rutura poderá ocorrer devido a fatores relacionados com as alterações climáticas, como a subida média do nível do mar ou, ocorrer apenas por outros fatores como a erosão, fenómenos hidrodinâmicos extremos e atividade humana. Por exemplo, o pisoteio de uma duna pode destruir por completo a vegetação, pondo a areia em movimento pelo vento, levando ao desaparecimento da duna. É, por isso, importante salientar que a rutura pode ocorrer devido à combinação da dinâmica biofísica litoral e a dinâmica antrópica litoral (Ferreira & Laranjeira, 2000) que, de forma conjunta, destroem determinados ecossistemas como campos dunares, praias, arribas ou lagunas costeiras. É precisamente a atividade humana a principal responsável pela desregulação dos sistemas biofísicos e, normalmente é o fator que faz ultrapassar o limiar de resiliência de um sistema (Paixão, 2011).

O sistema de duna frontal de Mira (entre a Praia do Areão e a Praia de Mira), por exemplo, é um sistema vulnerável. Possui sinais de alguma degradação devido à dinâmica antrópica relacionada com o pisoteio da duna frontal associada ao lazer e ao turismo, bem como devido às obras de proteção costeira em Mira (Ramos-Pereira & Laranjeira, 2002). Esses sinais prendem-se com a elevada densidade de brechas e *blowouts* devido ao pisoteio.

A Fonte da Telha (Portugal), constitui outro exemplo paradigmático da desregulação de um sistema biofísico. A área dunar está em estado de degradação, resultado da forte pressão antrópica (**Figura 6**), muito devido ao pisoteio na duna frontal e circulação automóvel. Todavia, a atividade piscatória desenvolvida na Fonte da Telha também tem contribuído para a desregulação deste sistema. Por contraste, as dunas no extremo noroeste do cordão arenoso



Figura 6 - Degradação dunar na Fonte da Telha, Almada. (Imagens *GoogleEarth* - data das imagens: 19-6-2016);

de Tróia são um bom exemplo de preservação de um sistema biofísico, onde subsistem apenas passadiços de material biodegradável, a madeira e as cordas. Na **figura 7** é possível observar a extensão da duna no extremo noroeste da península de Tróia.



Figura 7 – Extensão da área dunar na península de Tróia. (Imagens *GoogleEarth* - data das imagens: 19-6-2016);

2.2.2 A erosão

A erosão é um perigo que pode conduzir à desregulação dos sistemas litorais. A erosão é tida como um perigo que pode ter origem natural ou antrópica e uma abrangência temporal longa ou curta (Trindade & Ramos-Pereira, 2013), dependendo do agente erosivo. A erosão natural é em grande parte causada pelas variações do nível do mar e pelas ondas induzidas por eventos hidrodinâmicos extremos, como tsunamis, temporais e *storm surge*. É o regime de ondulação o agente erosivo mais importante ao longo da maioria das áreas costeiras do mundo (Summerfield, 1991).

A erosão de origem antrópica está relacionada com as atividades humanas na faixa litoral, nomeadamente através da ocupação dos sistemas/ecossistemas biofísicos. Além disso, algumas construções litorais também têm um papel decisivo na erosão litoral, nomeadamente os molhes e esporões, que são capazes de interroper a distribuição dos sedimentos

promovidos pelas correntes de deriva litoral. Contudo, as ações antrópicas com consequências no litoral não se resumem à ocupação da faixa litoral. A retenção dos sedimentos nas albufeiras, consequência da gestão de recursos hídricos em terra, promove a erosão litoral, levando à diminuição do aporte de sedimentos ao litoral.

O litoral de Portugal é um litoral que, no contexto europeu (**Figura 8**), apresenta alguns problemas relacionados com a erosão costeira, particularmente o litoral ocidental, desde o Minho até à região de Lisboa. A sul do Cabo Espichel até ao barlavento algarvio o litoral



Figura 8 - Padrões de erosão costeira na Europa – 2004. Adaptado da agência europeia do ambiente (<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/coastal-erosion-patterns-in-europe-2004>)

apresenta-se predominantemente em acreção, sendo que no sotavento algarvio apresenta alguns problemas de erosão (Comparar com **figura 9**).

A erosão costeira tem sido amplamente estudada na comunidade científica. Em Portugal, são várias as investigações no âmbito desta temática, nomeadamente em áreas particularmente sensíveis a esta questão. Um estudo de diagnóstico entre Espinho e Nazaré

(Alveirinho-Dias *et al.*, 1994) faz várias referências a trabalhos que remontam ao início do século XX e ao longo deste e que relatam, por exemplo, as invasões do mar em Espinho. Não só na área de Espinho existem trabalhos sobre erosão.

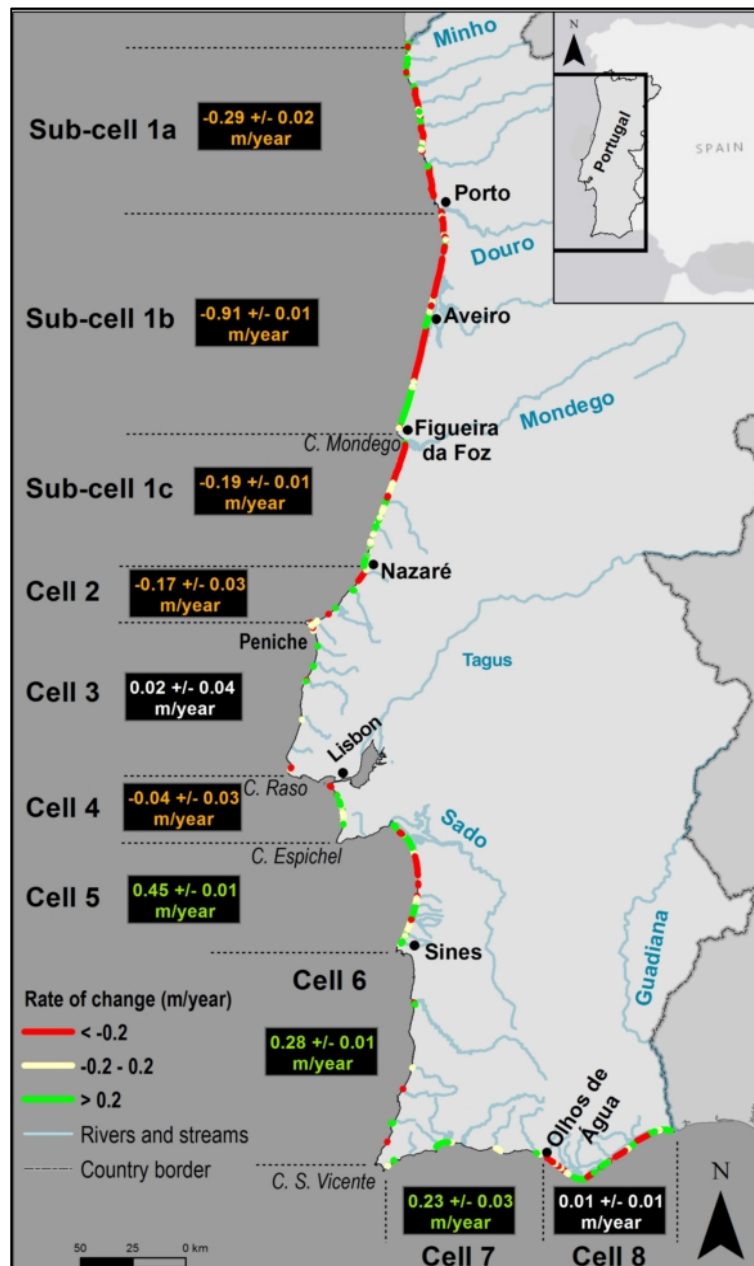


Figura 9 - Taxa de variação em Portugal. Os valores em caixa são a variação média da linha de costa (As cores em caixa: Laranja - erosão; verde - acreção – Lira *et al.*, 2016)

O trabalho de Oliveira *et al.* (1982), por exemplo, faz menção a problemas de erosão em áreas entre Leixões e o Cabo Mondego, mencionando a importância do rio Douro no transporte de sedimentos e o papel da atividade humana na interferência da normal distribuição dos sedimentos ao longo da costa.

Salienta-se o trabalho de Cunha & Dinis (1998), que estudam a erosão desde finais de 1995 até meados de 1998 entre o Cabo Mondego e a Figueira da Foz, bem como o temporal de Janeiro de 1996. O estudo concluiu que após o temporal de 1996 verificou-se uma contínua erosão devido a alterações nas características habituais do regime de ondas. Numa abordagem espacial maior que o estudo anterior, Vicente & Clímaco (2012) abordam a questão da erosão no troço costeiro entre a foz do rio Douro e o cabo Mondego. A metodologia aplicada possibilitou a quantificação da erosão e acumulação, bem como quantificar perdas de volumes e sua distribuição espacial. Ainda neste troço costeiro, particular destaque para os estudos que se focam em Espinho, já que é outra área sensível do litoral ocidental de Portugal. O trabalho de Araújo (2008) é um exemplo de estudo sobre erosão litoral, em Espinho. Em 1991, Mota-Oliveira & Martins (1991) apresentaram o recuo da linha de costa entre 1880 e 1911 para Espinho bem como as obras que foram executadas em Espinho para a proteção e reconstrução da frente-mar da cidade de Espinho. Mais recentemente, é de destacar Freitas & Dias (2015) que salientam a tendência erosiva de Espinho, apresentando e discutindo a componente socioeconómica da erosão litoral, desde as populações às obras de proteção costeira. Este trabalho também se reporta ao Furadouro, em Ovar. A respeito do litoral de Ovar, Valente (2015) estudou o troço costeiro compreendido entre o Furadouro e Esmoriz, onde refere um recuo de linha de costa devido à forte agitação marítima e ao grande défice sedimentar. São mencionados recuos de 4,8 metros por ano na área de Cortegaça e de 3,0 metros na praia da Maceda e troço sul do Furadouro, por exemplo.

A investigação de Silva *et al.* (2013) é mais um exemplo de estudo de erosão costeira em Portugal. Este estudou analisou as tendências evolutivas da linha de costa no litoral baixo e arenoso durante 50 anos entre a Nazaré e a praia da Vieira e Peniche (praia do Baleal e praia da Consolação), concluindo haver uma tendência erosiva em ambas as áreas.

Na Costa da Caparica, outra área sensível do litoral português e amplamente estudada no que toca à dinâmica litoral, refere-se o estudo de Pinto *et al.* (2007) que analisa o período de 1999 a 2007, evidenciando uma tendência claramente erosiva, com recuos que variam entre os 26 metros e os 42 metros. O estudo de Veloso-Gomes *et al.* (2009) aponta no mesmo sentido, e discute as intervenções já realizadas, nomeadamente a alimentação artificial das praias. Já em 2015, o trabalho de Sousa (2015) procurou estudar a dinâmica de linha de costa e permitiu apresentar a vulnerabilidade à erosão para o setor não artificializado do arco Caparica-Espichel. Este estudo demonstrou que existem setores muito suscetíveis à erosão num quadro de subida gradual do nível do mar. A autora remete para o ordenamento do território já que os setores mais vulneráveis coincidem com áreas de ocupação humana mais densa.

O estudo da erosão costeira em áreas de arriba também tem sido alvo de investigação. Há um grande número de estudos sobre recuo de arribas, sobretudo nas décadas de 1980 e 1990. Em 2003, Oliveira *et al.* (2003) realizou um estudo em arriba através de técnicas fotogramétricas, ao qual obtiveram um recuo médio entre 1991 e 2001 de 22,7 m no troço de arriba do Forte Novo e de 8,4 m no troço de arriba do Trafal. Esta área foi também mencionada em Ramos-Pereira (1996) que cita Dias (1988) e Marques (1991), referindo taxas de recuo da arriba de 7,5 metros por anos entre 1976 e 1980 e de 1,3 a 2,5 entre 1980 e 1991.

Existem também trabalhos em sistemas de ilhas barreira. Um exemplo interessante é o de Garcia *et al.* (2002) que foi realizado na ilha da Culatra e que demonstra a existência de diferentes dinâmicas a ocorrer em simultâneo. O estudo mostra que a ilha cresceu em comprimento de 4878 km em 1945 para 7161 km em 2005, para nordeste. Contudo, entre 1945 e 2001 alguns setores registaram recuos de linha de costa, particularmente o setor oeste da ilha.

Ao fazer referência ao problema da erosão costeira em Portugal, é indispensável fazer referência a dois documentos:

- I) Relatório final para a criação e implementação de um sistema de monitorização no Litoral abrangido pela área de jurisdição da Administração da Região Hidrográfica do Tejo. Este relatório é uma síntese de vários relatórios elaborados no âmbito desse projeto – Andrade *et al.* (2013);
- II) Relatório do grupo de trabalho do litoral – Santos *et al.* (2014);

O primeiro relatório citado foi concluído em 2013 e foi um projeto promovido pela APA (Agência Portuguesa para o Ambiente). Inclui estudos específicos sobre a Costa da Caparica e a lagoa de Albufeira. Foram estudadas várias questões relacionadas com erosão, tais como a sobrelevação do mar de origem meteorológica, as marés, o clima de agitação marítima, as tendências de evolução nos últimos 50-100 anos e a elaboração de cartografia de perigosidade à erosão de praias e ao galgamento oceânico.

O relatório do grupo de trabalho do litoral envolveu diversos especialistas da área e instituições. É um relatório transversal a todas as questões em matéria de litoral, abordando a erosão costeira, as alterações climáticas, a legislação sobre gestão da zona costeira e a adaptação à zona costeira. É um trabalho multidisciplinar cujo grande ponto de interesse é o balanço sedimentar que apresentam para todo o litoral continental português.

Posto isto, é importante afirmar a preocupação e reconhecimento da importância desta temática em Portugal, que em grande parte se deve à antropização do litoral. Esse reconhecimento tem sido efetivado através de legislação e de figuras legislativas que têm

imposto restrições ao uso do espaço litoral. A Reserva Ecológica Nacional (REN) é uma das figuras legislativas que exerce um papel importante na proteção do espaço litoral, uma vez que, enquanto restrição de utilidade pública prevê condicionalismos ao uso e ocupação do litoral. Previsto no Decreto-lei nº166/2008, alterado e republicado no Decreto-lei nº239/2012, a REN prevê proteção a dunas costeiras e dunas fósseis, praias, arribas e respetivas faixas de proteção, sapais e muitas outras áreas litorais. Estão previstas também áreas de prevenção dos riscos naturais, designadamente zonas ameaçadas pelo mar (ZAM). Além disto, os Planos de Ordenamento da Orla Costeira (Decreto-lei nº309/93), agora designados programas da orla costeira, têm sido um instrumento de gestão territorial importante na gestão e proteção das áreas litorais. Salienta-se ainda a Estratégia Nacional de Gestão Integrada da Zona Costeira (ENGIZC) aprovada na Resolução do Conselho de Ministros nº 82/2009 e que pretende ser o garante de uma apropriada articulação e coordenação das políticas e dos instrumentos que permitem o desenvolvimento sustentável da zona costeira.

Os elementos referidos acima correspondem a figuras legislativas de cariz mais preventivo. Todavia, a preocupação com a erosão tem-se feito sentir nas obras de proteção pesada e na alimentação artificial das praias, correspondendo a medidas reativas face ao processo erosivo.

2.2.3 A intrusão da água salgada

A intrusão salina descreve a possibilidade de penetração de água salgada nas águas subterrâneas (aquíferos costeiros), podendo ou não ocorrer sob uma mudança climática (Appelquist & Halsnæs, 2015). Essa associação às alterações climáticas está relacionada com a subida do nível do mar que aumenta o perigo de intrusão da água salgada. De referir ainda que existem outras formas de contaminação de água salgada nos aquíferos costeiros, nomeadamente a contaminação de aquíferos em áreas com concentrações de sal-gema, em caso de sobre-exploração. O estudo de Carvalho *et al.* (2016) faz precisamente referência a massas de sal-gema em profundidade no sistema aquífero Mexilhoeira Grande – Portimão, potenciadoras de afetar a qualidade da água doce.

A questão da intrusão de água salgada em áreas costeiras tem suscitado investigações em várias áreas do globo tais como Itália (Sappa & Coviello, 2012), Bangladesh (Rahman & Bhattacharya, 2014), Argélia (Bouderbala *et al.*, 2016) e particularmente, nos Estados Unidos. Nos EUA, esta temática tem vindo a ser estudada pelo menos desde a década de 40 do século XX, com forte presença de estudos dos Serviços Geológicos (USGS). Atendendo ao enorme volume de estudos sobre esta temática, citam-se apenas os exemplos de Cooper *et al.* (1964) e Fisher *et al.* (1965). O estudo de Cooper *et al.* (1964) trata o aquífero de Biscayne, perto de

Miami. Esta investigação começou em 1957 e estudou os padrões de fluxo e as concentrações de sal no aquífero. Já a investigação de Fisher *et al.* (1965) foi realizada na planície Oxnard no condado de Ventura, Califórnia. Este estudo foi importante porque a configuração dos vários aquíferos e aquíclados não estava bem entendida e existiam carências ao nível de redes adequadas de monitorização da intrusão salina.

Em Portugal, o volume de estudos científicos sobre a intrusão salina é muito menor face aquilo que existe nos Estados Unidos. Em 2004, Nascimento *et al.* (2004) refere a inexistência de redes de monitorização específicas implementadas nos aquíferos costeiros com perigo de salinização. Apesar disso, referem-se os estudos de Chachadi & Ferreira (2005) e Ferreira *et al.* (2005) que constituem duas partes da aplicação do método de GALTIT no aquífero do Monte Gordo. A investigação já referida de Carvalho *et al.* (2016), realizada no aquífero costeiro Mexilhoeira Grande – Portimão é um exemplo recente de estudos em Portugal sobre intrusão salina. O aquífero encontra-se ameaçado, porém, o estudo concluiu que o aquífero poderá, se monitorizado, ser rentável ao nível de projetos agrícolas.

2.2.4 As inundações súbitas

As inundações súbitas são causadas por um aumento de curto prazo do nível da água devido a um *tsunami*, um temporal e pelo *storm surge*. A estes dois últimos se associam as marés e a subida do nível do mar. A respeito da subida no nível do mar, é de referir que Antunes & Taborda (2009), mencionam uma subida entre 1900 e 2000 de 1,9 mm/ano, segundo dados do marégrafo de Cascais. Ou seja, a cada década o nível médio das águas subiu em 1,9 cm. Entre 2000 e 2013, a subida do nível do mar foi de 4,1 mm/ano, segundo Antunes (2014) citado por Santos *et al.* (2014) – dados do marégrafo de Cascais. A subida do nível do mar conduz a que as inundações súbitas tenham maior magnitude no litoral, particularmente no caso dos temporais e do *storm surge*. Segundo Ramos-Pereira (2004:34), a ocorrência de temporais em contexto de subida do nível do mar leva a que “a rebentação das ondas (função da altura da coluna de água) ocorra mais para o interior, galgando facilmente praias e até dunas”. Quanto à maré, a coincidência dos eventos extremos com a preia-mar torna-se uma combinação perigosa para as áreas costeiras.

Os eventos tsunamigénicos (**Figura 10**) são eventos hidrodinâmicos excecionais com capacidade de transporte de um enorme volume sedimentos, de dimensões muito variadas, sendo que o processo de deposição pode ocorrer em vários ambientes geomorfológicos, como estuários, ilhas barreira, lagunas e até mesmo no topo de arribas (Ramos-Pereira *et al.*, 2015). Essa deposição ocorre na área inundada pelo *tsunami*. Sendo assim, a identificação da área de inundação e limite interior alcançado pelo *tsunami* torna-se um indicador fundamental para a

avaliação da perigosidade costeira. Através de trabalho de sondagem, tratamento sedimentar e laboratorial é possível determinar esse limite. Têm sido uma linha de investigação importante no que toca a este tipo de inundações. O estudo de Tudor (2017) é um dos mais recentes exemplos em Portugal, levado a cabo no estuário do rio Alcabrichel. Este estudo realizou-se com base em amostras recolhidas pelo grupo de investigação SLIF do Centro de Estudos Geográficos, no âmbito do projeto “FMI 5000 – *Environmental Changes: Fluvio-marine interactions*”, e permitiu inferir a extensão do depósito e os limites da inundação no estuário do rio Alcabrichel, revelando ser um importante indicador de perigosidade. Estes resultados



Figura 10 - Inundação súbita de origem tsunamigénica Miyako, Japão em 2011. Retirado de: (<http://www.latimes.com/world/la-fg-japan-tsunami-before-after-slider-htmlstory.html>)

foram obtidos através de análises texturais, microtexturais, geoquímicas e morfoscópicas, para além de datações radiocarbono, realizadas no âmbito do referido projeto. Além deste, Moreira *et al.* (2017) aplicou técnicas geoquímicas de alta resolução, bem como análises do tamanho dos grãos do depósito do *tsunami* de 1755 na lagoa dos Salgados, no Algarve. Este estudo também conseguiu inferir os limites do depósito e a extensão da inundação tsunamigénica. Outros estudos de identificação de depósitos correlativos de inundação tsunamigénica foram levados a cabo em Portugal na identificação de depósitos correlativos de inundação tsunamigénica (Kortekaas & Dawson, 2007; Costa *et al.*, 2008; Costa *et al.*, 2010; Font *et al.*, 2010; Costa *et al.*, 2012; Font *et al.*, 2013;) , bem como em outras regiões do mundo (Bellanova *et al.*, 2016; Ocampo-Rios *et al.*, 2017; Piotrowski *et al.*, 2017). É ainda importante fazer referência ao trabalho de Ramos-Pereira *et al.* (2013) que constitui uma inédita identificação de um depósito tsunamigénico em meio urbano em Portugal. Este depósito foi

identificado em Lisboa, na área de Belém (estuário do Tejo) e é também referido em Ramos-Pereira *et al.* (2015).

Os temporais são também eventos hidrodinâmicos extremos e resultam da interação oceano-atmosfera. São capazes de gerar inundações (**Figura 11**) e destruição de valores naturais e de infraestruturas humanas, ocorrendo com maior frequência comparativamente aos *tsunamis*. Os temporais na costa ocidental portuguesa são o resultado de centros depressionários cavados, a que se associam muitas vezes superfícies frontais, com origem na circulação atmosférica atlântica. O *storm surge* está associado aos temporais.



Figura 11 - Inundação súbita com origem na tempestade *Hércules* na Costa da Caparica (Imagem do Youtube)

Existem muitos estudos sobre temporais, particularmente sobre os seus efeitos na costa, como o de Daveau *et al.* (1978) e Freitas & Dias (2013). O estudo de Santos *et al.* (2014) é um exemplo de estudo pós temporal, nomeadamente aquando da passagem da tempestade *Hércules* em Portugal. Ainda em 2014, Diogo *et al.* (2014) estudou os impactos morfológicos da tempestade *Chistina* nas praias do litoral centro-oeste de Portugal. Em 2015, Tudor & Ramos-Pereira (2015) estudaram os efeitos na praia da Adraga do inverno marítimo 2013/2014. Fora de Portugal referem-se como exemplos um estudo feito para a costa oriental dos Estados Unidos da América (Mather *et al.*, 1964) e um estudo sobre escalas de intensidades para ondas de temporal na Catalunha (Mendoza *et al.*, 2011).

O *storm surge* corresponde a uma subida anómala do nível médio das águas do mar geralmente causada por um centro de baixas pressões e por vento forte, que atuam na subida do nível da maré prevista (Sunamura, 1992; Viles & Spencer, 1995). Podendo durar horas ou dias (Bird, 2008), o *storm surge* é capaz de gerar inundações costeiras destrutivas, principalmente quando se associam a marés cheias e vivas e um regime de ondulação

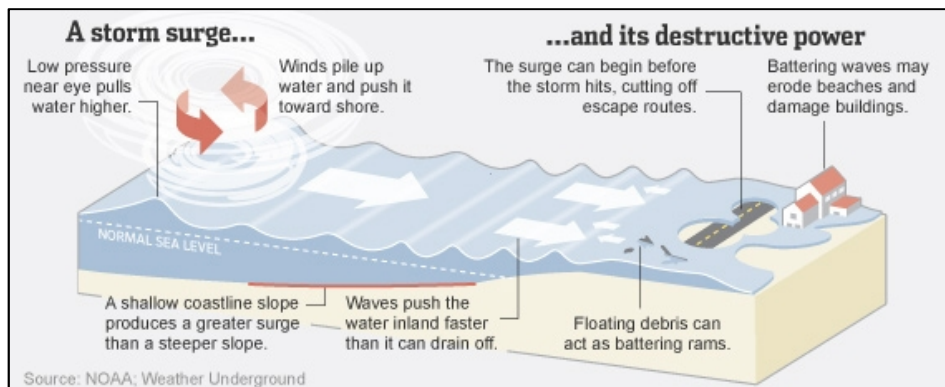


Figura 12 - Mecanismo de geração do *storm surge* e consequências para o litoral

(<https://tc120.wordpress.com/2014/09/20/storm-surge-a-misconception-that-can-kill-a-thousand-lives-2/>)

significativo que constitui um perigo para o litoral (**Figura 12**). É um conceito que está definido em muitas obras de geomorfologia costeira e processos costeiros, tais como Sunamura (1992), Viles & Spencer (1995) e Bird (2008).

Ao redor do planeta, o *storm surge* tem sido amplamente estudado em áreas que são frequentemente atingidas por eventos ciclónicos extremos, como é o caso dos Estados Unidos da América, país que todos os anos é atingido por eventos desta natureza. No entanto, existem estudos em áreas que não estão sob a influência de eventos ciclónicos extremos. A título de exemplo, Steers *et al.* (1979) realizaram um trabalho a respeito do evento de *storm surge* ocorrido na costa este de Inglaterra em 1978. Este estudo focou-se no evento de *storm surge* de 11 de janeiro de 1978 que causou sérios danos em alguns pontos do litoral este de Inglaterra. Este evento de *storm surge* é comparado ao evento ocorrido em janeiro/fevereiro de 1953 no mar do Norte, evento esse que está documentado em Rossiter (1954). O estudo de Steers *et al.* (1979) é também interessante porque apresenta uma pequena síntese dos maiores eventos de *storm surge* no mar do Norte no período de 30 anos, a partir de 1949. O *storm surge* é uma temática amplamente estudada no mar do Norte, não só em Inglaterra, mas também em litorais de outros países. Ademais, o *storm surge* é um fenómeno estudado em todas as áreas litorais da Europa, sendo a investigação de Vousdoukas *et al.* (2016) um bom exemplo disso. Este estudo corresponde a uma projeção dos níveis de *storm surge* para toda a Europa através de modelação, considerando as alterações climáticas, e um aumento dos níveis de *storm surge* na maioria dos cenários.

Em Portugal, existem também estudos sobre *storm surge*, sendo que a identificação de valores de *storm surge* mais antiga corresponde ao estudo de Morais & Abecassis (1978) que identificou no porto de Leixões, 0,53 metros de sobrelevação máxima. Após este estudo, salientam-se dois estudos realizados na primeira metade da década de 1990, a saber, Taborda & Dias (1992) e Gama *et al.* (1994). Ambos os exemplos estudam períodos de 1 a 3 anos do *storm surge* em Portugal. O primeiro estudo referido é o segundo trabalho em Portugal que quantifica a sobrelevação depois de Morais & Abecassis (1978), não se limitando apenas a

descrições de temporais passíveis de serem interpretadas como *storm surge*. O segundo trabalho mencionado, também quantifica os valores de sobreelevação, registando um valor de sobreelevação máxima de 1,10 metros em Viana do Castelo entre 14 a 16 de outubro de 1987. Em 1996, é realizada uma dissertação sobre *storm surge*, nomeadamente na praia da Comporta, Arrifana, Odeceixe e S. Torpes – Gama (1996). Esse trabalho, embora não publicado, constitui a primeira tese em Portugal sobre *storm surge*.

Em 2011, refere-se um trabalho de modelação e evento de *storm surge* no Minho, ocorrido entre os dias 14 e 16 de outubro de 1987 (Silva, 2011). Mais recentemente, Carvalho (2013) estudou os impactos deste fenómeno, combinando o uso de dados oceanográficos com a imprensa, entre outubro de 2007 e dezembro de 2010. A investigação mostrou uma relação entre os dados da imprensa e os dados oceanográficos e considerou o inverno marítimo de 2009-2010 o mais impetuoso. Além disso, o estudo da imprensa tornou viável uma avaliação das consequências para o litoral. No mesmo ano, desenvolveram-se investigações no sistema laguna de Aveiro sobre os impactos do *storm surge* neste sistema, particularmente o estudo de Picado *et al.* (2013). Este trabalho procurou analisar os impactos do *storm surge* na hidrodinâmica da laguna através de modelação numérica. Foi concluído que o *storm surge* naquela área é causador de mudanças na hidrodinâmica da laguna e que constitui um perigo relevante, nomeadamente como veículo de erosão, inundação e salinização das margens da laguna.

2.3 Ferramentas de avaliação da perigosidade e vulnerabilidade costeira

A mobilidade natural do espaço litoral é um fator aliciante de investigação, sobretudo em litorais densamente ocupados. A sua avaliação é, por isso, importante e é realizada através de metodologias de avaliação de perigosidade e vulnerabilidade costeira. Contudo, o quadro concetual na avaliação de perigosidade e vulnerabilidade é uma questão sensível e alvo de debate científico. A definição de conceitos não é uma matéria consensual na comunidade científica e, por isso, nem todos os autores seguem os mesmos conceitos e entendimentos sobre o quadro concetual. O presente trabalho reporta-se, portanto, ao quadro concetual de Julião *et al.* (2009).

Neste sentido, é importante a clarificação de conceitos. Assim, a perigosidade é entendida como “a probabilidade de ocorrência de um processo ou ação (natural, tecnológico ou misto) com potencial destruidor (ou que pode provocar danos) com uma determinada severidade, numa dada área e num dado período de tempo”, segundo Julião *et al.* (2009:21), e será um conceito base ao longo desta dissertação. Já a vulnerabilidade corresponde essencialmente ao grau de perda e “reporta-se aos elementos expostos” de que são exemplos

a “população, propriedades, estruturas, infraestruturas, atividades económicas”. (Julião *et al.*, 2009:21).

2.3.1 Ferramentas de avaliação de perigosidade costeira

No que diz respeito às ferramentas de avaliação de perigosidade costeira, salienta-se a metodologia *CHW*² (**Figura 13**) que foi apresentada pela primeira vez em Appelquist (2013). Esta metodologia é aplicável a todas as áreas costeiras do mundo, mas tem sido utilizada sobretudo em países em desenvolvimento, uma vez que a metodologia é talhada para áreas onde a disponibilidade de dados é menor. O objetivo desta metodologia passa por constituir uma ferramenta que dispense uma grande carga ao nível dos dados, que em muitos casos não são públicos ou não existem.

Com base na sua primeira versão (*CHW 1.0*), surgiram estudos no estado africano do Djibouti (Appelquist & Balstrøm, 2014) e na Índia ocidental, no estado do Karnataka (Appelquist & Balstrøm, 2015), ambos em países em desenvolvimento. Posteriormente, a metodologia foi revista em 2015 (Appelquist & Halsnæs, 2015), efetivando a *The Coastal Hazard Wheel 2.0*. Desde então, a metodologia foi aplicada em Malta (Micallef *et al.*, 2017), já com a *CHW 2.0*, constituindo este último o único exemplo deste tipo de estudos num país desenvolvido. Em 2018, foi levado a cabo um estudo com a aplicação da *CHW 2.0* para a avaliação da erosão na costa do Pacífico e do Atlântico da Colômbia (Stronkhorst *et al.*, 2018). Foi um estudo à escala regional. A metodologia *The Coastal Hazard Wheel* foi, portanto, aplicada em apenas 4 áreas em todo o mundo. A versão atual é a *CHW 3.0* publicada no manual da metodologia (Appelquist *et al.*, 2016), sendo o resultado de pequenas modificações processuais.

Ainda para a avaliação dos perigos costeiros, Silva *et al.* (2017) propõem uma ferramenta para avaliação de perigos - *Coastal hazard index (CHI)*. Este índice é baseado em estimativas das áreas inundadas com propensão para ser inundadas (“*In order to calculate the area affected by coastal hazards over the last 35 years, we propose the CHI based on estimations of inundated areas with the proneness to be flooded*”). Consideram que a frequência dos eventos de inundação é uma variável importante, introduzindo a “topografia costeira” em metros (*Tcoast*) e a distância à costa em metros (*Dcoast*) como parâmetros indispensáveis nesta avaliação (Silva *et al.*, 2017). É considerado a distância à costa em metros porque esta influencia a inundação, ou seja, áreas menos distantes da costa estão mais predispostas para serem inundadas. O mesmo princípio para a altitude isto é, áreas baixas têm

² A descrição detalhada desta metodologia será desenvolvida no capítulo III.

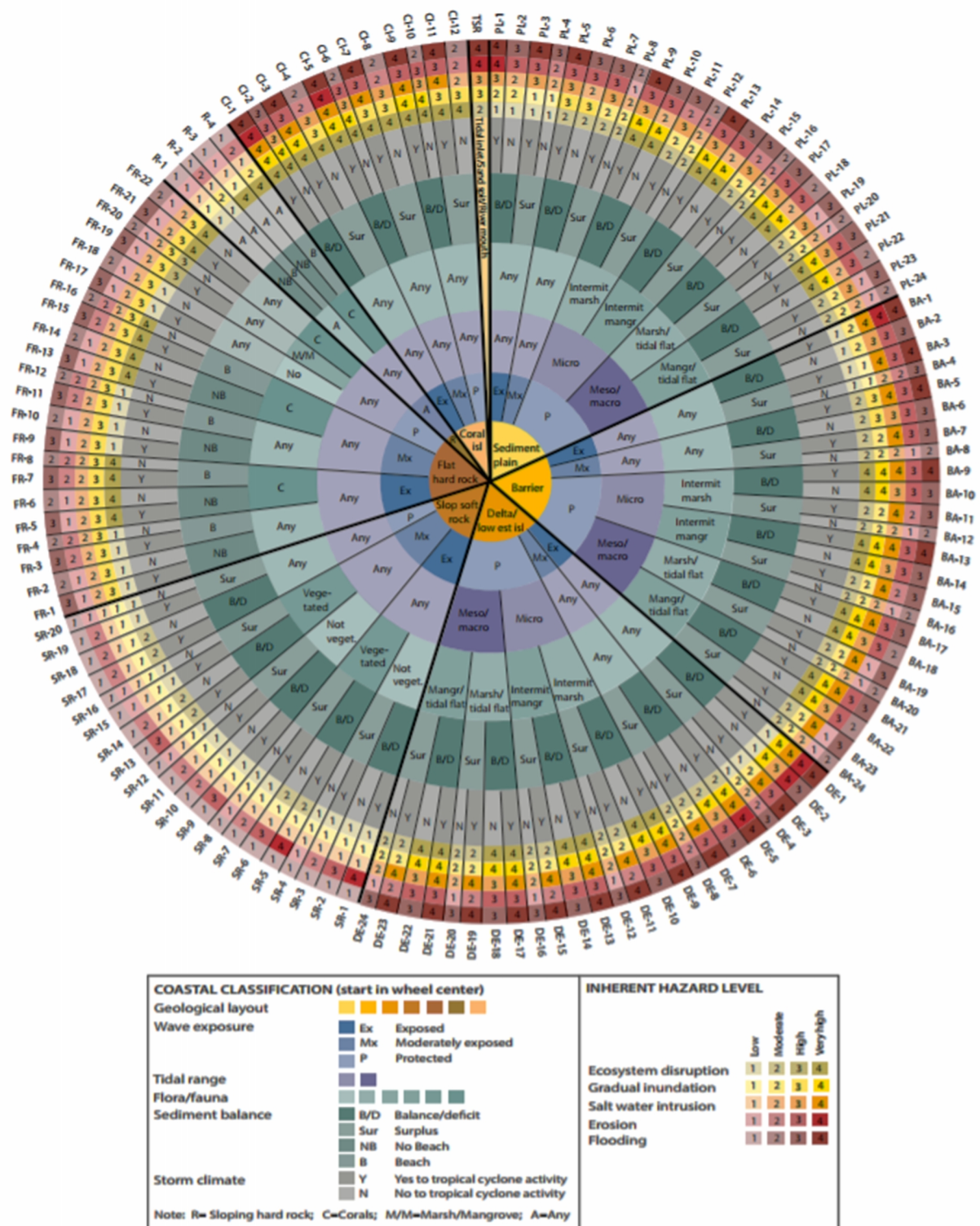


Figura 13 – The Coastal Hazard Wheel 3.0 (Appelquist et al., 2016)

maior predisposição para serem inundadas. Na equação, “i” corresponde ao número de cada ano analisado, “A” às áreas hipotéticas de inundação e “Yr” ao total de anos em estudo. Assim sendo, a avaliação segue a seguinte equação:

$$CHI = \frac{100 \sum_{i=1}^n A_i}{Y_r} \sqrt{(D_{coast} * T_{coast})/2}$$

A avaliação dos impactos de temporais foi também tema de investigação de *Jaranović et al.* (2017) que utilizou uma ferramenta de avaliação de perigosidade – *coastal storm hazard index (CSHI)*. Este índice foi aplicado na linha de costa entre o Cabo Raso e o Cabo Espichel (Portugal) num processo metodológico que envolveu um conjunto de 12 variáveis, a saber, a geologia (f), a geomorfologia (g), as taxas de erosão e acreção (h), a altitude em metros (d), a ocupação do solo (b), o número de construções (c), a exposição (j), a batimetria em metros (k), as áreas protegidas (l), a largura do sistema em metros (i) e o período de retorno (100 anos) da altura significativa das ondas (a). Este índice é um caso do problema concetual apontado no ponto 2.3. A escolha de algumas variáveis foi além daquilo que se considera perigosidade, tendo os autores utilizado variáveis relacionadas com os elementos expostos. A avaliação segue a seguinte equação:

$$CSHI = \sqrt{\frac{25,6a * 11,9(b * c * d * e) * 4,2(f * g * h * i * j * k) * 1,6l}{12}}$$

De referir ainda outras técnicas que permitem obter informações relevantes para o estudo da perigosidade e até mesmo da vulnerabilidade. A tecnologia LiDAR (*Light detection and ranging*) e os veículos aéreos não tripulados (VANT) são atualmente ferramentas úteis nesse sentido. Os VANT estão amplamente difundidos no meio científico, uma vez que, comparativamente aos levantamentos topográficos, o processo de recolha de dados é mais rápido, eficiente e económico. Posteriormente, é possível obter modelos digitais de superfície e ortofotomapas que ajudam a obter dados para algumas das variáveis necessárias para os índices já referidos ao longo deste ponto.

2.3.2 Ferramentas de avaliação da “vulnerabilidade” costeira

Uma das ferramentas de avaliação da “vulnerabilidade” costeira mais difundida no meio científico, foi originalmente idealizado por Gornitz (1990). Existiram desenvolvimentos por Gornitz *et al.* (1994) nomeadamente com o acrescento de 6 variáveis de cariz climático, às já existentes 7 variáveis físicas do índice idealizado originalmente. As variáveis originais eram a

altitude, geologia, geomorfologia, movimentos verticais locais (subsidência), taxas de acreção/erosão, altura significativa da onda e a amplitude da maré. As 6 variáveis acrescentadas eram a probabilidade anual de ocorrência de tempestade tropical, probabilidade anual de ocorrência de furacão, índice de frequência/intensidade de furacão, número médio anual de ciclones extratropicais, velocidade média da frente do ciclone tropical e o *storm surge* do furacão. Já no final do século, o índice de “vulnerabilidade” costeira (CVI) foi aplicado por Thieler & Hammar-Klose (1999) num total de 6 variáveis. Teve em consideração seis variáveis físicas, a saber, o declive costeiro, a taxa relativa da subida do nível do mar, a taxa de erosão/acreção da costa, a amplitude média da maré, a altura média da onda e a geomorfologia. A geomorfologia corresponde aos sistemas litorais de uma determinada área e varia em função da área considerada em cada estudo. Este índice é um outro exemplo do problema concetual identificado no ponto 2.3. Estas variáveis não se reportam aos elementos expostos conforme referido no quadro concetual em Julião *et al.* (2009:21).

Este índice fornece informação sobre o potencial relativo das mudanças costeiras na sequência da futura subida do nível do mar. Cada uma das variáveis é quantificada e avaliada numa escala entre 1 e 5, em que 1 indica uma baixa contribuição para a “vulnerabilidade” costeira e 5 uma elevada contribuição para a “vulnerabilidade” costeira. O índice de “vulnerabilidade” costeira é calculado através da seguinte equação:

$$CVI = \sqrt{((a*b*c*d*e*f) / 6)}$$

onde, “a” corresponde à geomorfologia, “b” ao declive costeiro, “c” à taxa relativa da subida do nível do mar, “d” à taxa de erosão ou acreção da costa, “e” à amplitude média da maré e “f” à altura significativa média das ondas.

O índice de “vulnerabilidade” costeira (CVI) foi amplamente aplicado em diversos estudos norte-americanos, de que são exemplos Thieler & Hammar-Klose (1999), Pendleton *et al.* (2004a) e Pendleton *et al.* (2004b), todos na costa este dos Estados Unidos, assim como o de Hammar-Klose *et al.* (2003) no Estado do Massachusetts. Os estudos de Thieler & Hammar-Klose (2000a) e o de Pendleton *et al.* (2010) aplicaram também o CVI, na costa americana no Golfo do México. A mesma metodologia foi empregue também para a costa oeste dos Estados Unidos da América (Pendleton *et al.*, 2004c; Thieler & Hammar-Klose, 2000b). No espaço Ibérico, o índice foi utilizado na costa da Andaluzia (Ojeda-Zújar *et al.*, 2009) e, em Portugal, Silva *et al.* (2017) aplicaram na Costa da Caparica de onde resultou uma cartografia de “vulnerabilidade” costeira da área em estudo (**Figura 14**).

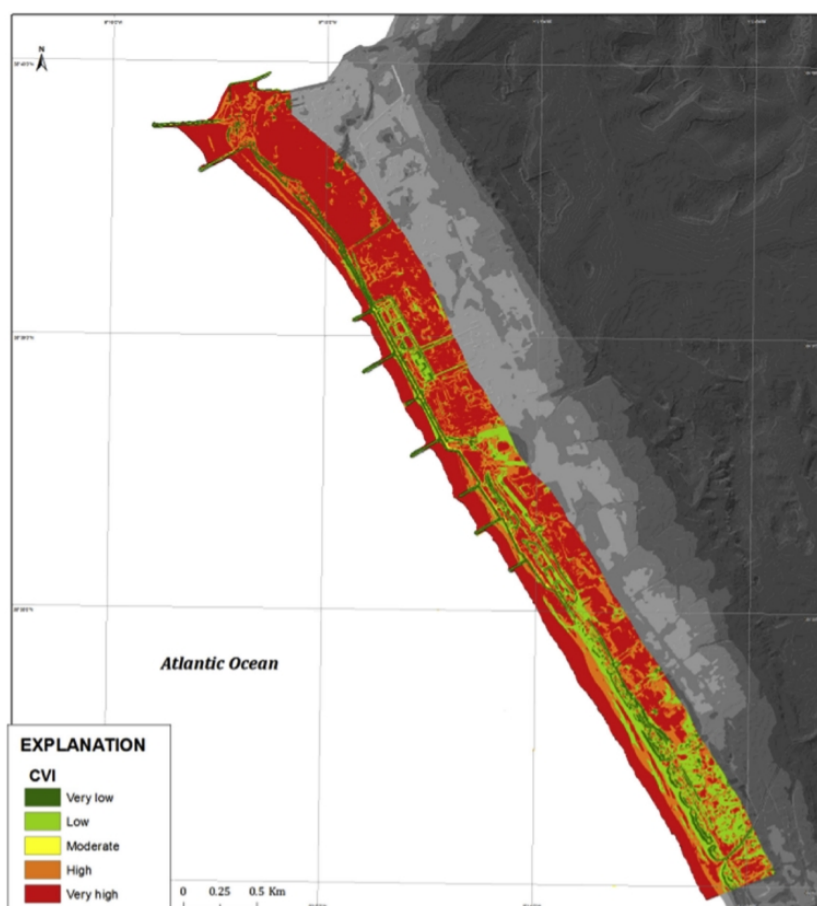


Figura 14 - Índice de vulnerabilidade costeira na Costa da Caparica (Silva *et al.*, 2017)

Este índice tem sido alvo de adaptações, nomeadamente das variáveis introduzidas no índice bem como o número de variáveis que consideram. A título de exemplo, Kumar *et al.* (2010) utilizam no índice 8 variáveis, a saber, a amplitude da maré, a altura significativa das ondas, o declive costeiro, a taxa de mudança do nível do mar, a taxa de mudança da linha de costa, a elevação costeira, a geomorfologia costeira e o *run-up* de *tsunami*, aplicado ao Estado indiano de Orissa. O trabalho de Santos *et al.* (2015) demonstra também essa adaptação no Estado da Bahia (Brasil), tendo sido utilizadas 7 variáveis. De acordo com a terminologia dos autores foram utilizadas as variáveis geomorfologia, declive costeiro, a elevação da praia, a taxa de erosão ou acreção da praia, a taxa de elevação relativa do nível do mar, a altura significativa da onda e a amplitude média da maré.

O método *Aerial Videotape-Assisted Vulnerability Analysis (AVVA)* é também uma ferramenta de avaliação da vulnerabilidade costeira. Este método foi desenvolvido por Leatherman *et al.* (1995) e consiste na observação aérea oblíqua e classificação das características socioeconómicos e naturais de uma determinada área, como a geomorfologia costeira (Pereira & Coelho, 2013).

O método combina a técnica de vídeo, com validação de campo e outras fontes como cartografia e relatórios (Andrade *et al.*, 2006). Este método foi utilizado em estudos de adaptação à subida do nível do mar na Gâmbia e Costa do Marfim (Jallow *et al.*, 1996; Jallow *et al.*, 1999) e eram, no final da década de 1990, uma técnica rápida e de baixo custo. Embora tenha sido uma ferramenta nova, revelou ser um contributo ao nível das respostas e adaptação à subida do nível do mar nesses dois países em desenvolvimento. O *Aerial Videotape-Assisted Vulnerability Analysis (AVVA)* foi aplicado também em Portugal, servindo para obter dados da geomorfologia costeira, a ocupação do solo e as estruturas de proteções, ao longo do litoral de Portugal (Freitas *et al.*, 2006). O estudo de Andrade *et al.* (2006) sobre alterações climáticas em Portugal utilizou informação base que foi processada com base nesta técnica.

A metodologia proposta por Coelho (2005) e reconsiderada por Coelho *et al.* (2006) apresenta-se como ferramenta de avaliação da “vulnerabilidade”. Consiste num índice de “vulnerabilidade” global, que é o resultado da ponderação de cada parâmetro de “vulnerabilidade” classificado de forma independente, sendo que é completada com uma estimativa da evolução da linha costeira, usando modelação numérica (Coelho *et al.*, 2006). De entre os parâmetros de “vulnerabilidade”, são considerados, segundo a terminologia dos autores, a distância à linha de costa (m), a altimetria (m), a geomorfologia, a geologia, ações antropogénicas, a máxima altura significativa da onda (m), a máxima amplitude de maré (m), as taxas médias de erosão/acreção (m/ano) e a ocupação do solo.

A “vulnerabilidade” de cada parâmetro é classificada de 1 a 5, sendo 1 muito baixa e 5 muito elevada. A **figura 15** representa um exemplo da espacialização da classificação da “vulnerabilidade” para dois parâmetros. Posto isto, os valores de “vulnerabilidade” total são obtidos mediante a realização de uma média ponderada do valor de “vulnerabilidade” atribuído a cada um dos parâmetros acima enumerados.

O *IPCC Common Methodology* é outra ferramenta de avaliação de vulnerabilidade costeira desenvolvida na última década do século XX, tendo sido revista ao longo da mesma. Esta metodologia avalia a vulnerabilidade à subida do nível do mar, tendo em conta as características inerentes à área de estudo. Posteriormente, são obtidas estratégias de resposta, o perfil vulnerabilidade e as necessidades futuras (Pereira & Coelho, 2013). A adaptação assenta em três pilares: recuar, acomodar e proteger.

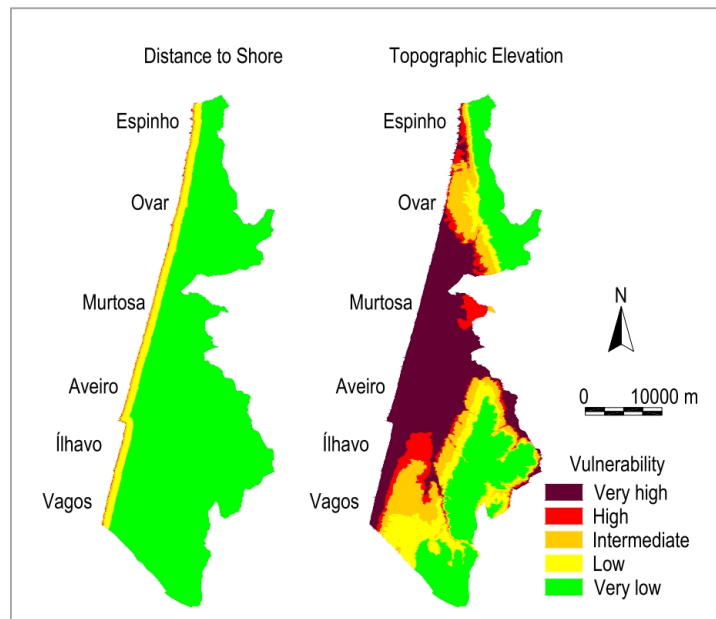


Figura 15 – Classificação da “vulnerabilidade” para os parâmetros da distância à costa e altimetria (Coelho *et al.*, 2006)

A presente dissertação será o quinto estudo com uma aplicação semelhante da metodologia *CHW 3.0*, e o segundo estudo num país desenvolvido. O presente capítulo visa descrever todos os procedimentos metodológicos seguidos para o alcance de resultados. Para além do processo metodológico seguido, é indissociável descrever a metodologia *CHW 3.0*. A escolha desta metodologia está relacionada com o desafio de a aplicar a uma escala diferente e num país desenvolvido.

3.1 A metodologia *the coastal hazard wheel 3.0*

Esta metodologia surge em 2013 por geógrafos dinamarqueses e apresenta-se como um instrumento de avaliação e gestão combinada de multiperigo nas áreas costeiras de todo o mundo, em contexto de alterações climáticas. Como referido no capítulo II, em 2015 esta metodologia foi revista, culminando na versão 2.0. A versão *CHW 3.0* é apresentada num manual que foi publicado em 2016 (Appelquist *et al.*, 2016). Os dois artigos (Appelquist, 2013; Appelquist & Balstrøm, 2015) lançados nestes dois anos suportam metodologicamente esta ferramenta de gestão costeira.

A aplicabilidade desta ferramenta ocorre em três escalas, a saber, a escala local, regional e nacional, abrangendo 5 perigos costeiros, nomeadamente, a erosão, a desregulação de sistemas biofísicos, inundações graduais, intrusão de água salina e as inundações de carácter súbito³. A estes perigos estão associados valores de perigosidade entre 1 a 4, sendo 1 perigosidade baixa, valor 2 para perigosidade moderada, valor 3 para perigosidade elevada e, por fim, valor 4 para perigosidade muito elevada. Estas avaliações aos 5 perigos costeiros incidem sobre os ambientes costeiros. Nesse sentido, a metodologia *CHW 3.0* individualiza 131 ambientes costeiros no mundo, o que perfaz um total de 655 avaliações de perigosidade.

Este instrumento de avaliação tem três níveis de aplicabilidade, com base no nível de precisão e na disponibilidade de dados. O primeiro nível é projetado para avaliação de perigo em que os níveis de precisão e disponibilidade de dados são baixos, sendo exequível através

³ Os *tsunamis* são eventos hidrodinâmicos que provocam inundações de carácter repentino ou súbito. Todavia, a *CHW 3.0* não tem em conta este perigo pois considera que os *tsunamis* não são eventos relacionados com alterações climáticas. Além disso, consideram que estes eventos são de difícil análise devido à incerteza associada aos fatores que estão na origem de um fenómeno tsunamigénico, tais como movimentos de vertentes e a atividade tectónica. Não obstante, alertam que determinados ambientes costeiros podem ser mais afetados por estes eventos, salientando a necessidade de gestão e planeamento. Uma metodologia que permite, pelo menos, inferir a incidência espacial do perigo associada a estes eventos é o estudo do registo sedimentar.

de dados públicos e ou dados obtidos com base na detecção remota. O segundo nível requer trabalho de campo para validação dos dados obtidos. Por fim, o terceiro nível é focado em avaliações locais, sendo indispensáveis avaliações de campo detalhadas e sistemáticas (Appelquist & Balstrøm, 2015).

3.1.1 As 6 componentes biogeofísicas

Os ambientes costeiros são o resultado da combinação de 6 componentes biogeofísicas.

Em primeiro lugar a geomorfologia costeira, caracterizada pelo tipo de sistemas presentes, seguindo-se a exposição às ondas, amplitude de maré, fauna e flora, balanço sedimentar e, por fim, o que os autores denominam por clima de tempestade. Das várias combinações possíveis entre as várias categorias dentro destas componentes resultam em 131 ambientes costeiros específicos no mundo. Estes, encontram-se identificados na roda por um código composto por letras e números. As letras identificam geomorfologia do ambiente costeiro. Por exemplo, os ambientes costeiros começados pela sigla BA correspondem a ambientes costeiros de barreira. Já os ambientes costeiros começados pela sigla DE correspondem a ambientes costeiras de delta e/ou ilhas estuarinas.

A geomorfologia costeira é a componente biogeofísica mais importante, já que é onde atuam os processos hidrodinâmicos. É composta por um total de 8 categorias (**Figura 16**), a saber, as planícies sedimentares, barreiras, ilhas de coral, deltas e ilhas estuarinas, arribas em material brando, arribas em material resistente, plataformas rochosas de sopé e, por fim, a categoria denominada barras, desembocaduras de rios e cordões arenosos depositados por correntes de deriva litoral.



Figura 16 - 7 componentes da geomorfologia costeira, ao centro na CHW 3.0. A designação R corresponde às arribas em material resistente.

A segunda e terceira componente são a exposição às ondas (**Figura 17**) e a amplitude de maré (**Figura 18**). No primeiro ponto, quando existem dados disponíveis de altura significativa da onda (H_s), os autores determinam este ponto com base na altura significativa

da onda de 12 horas contínuas por ano (H_s 12h/ano). Com base neste parâmetro a classificação da exposição das ondas é a seguinte:

- I) litorais protegidos (H_s 12h/ano < 1 m);
- II) litorais moderadamente expostos (H_s 12h/ano 1-3 m);
- III) litorais expostos (H_s 12h/ano > 3 m).

No que toca à amplitude de maré, esta ferramenta de avaliação e gestão de perigosidade define o regime de maré quanto à amplitude com base na seguinte classificação

- I) Micro-maré (< 2 metros);
- II) Meso-maré (2-4 metros);
- III) Macro-maré (> 4 metros).

Os autores consideram que, em litorais expostos e moderadamente expostos, a maré não tem grande expressão nos impactos costeiros porque dominam processos ligados as ondas.⁴ Em litorais protegidos, a amplitude de maré tem maior importância ao nível da morfodinâmica local, daí existir distinção entre os vários regimes. No entanto, isso não se aplica a toda a geomorfologia costeira (sistemas costeiros). Nas arribas, plataformas rochosas de sopé e corais a amplitude da maré não é aplicada por razões de simplificação (Appelquist *et al.*, 2016). À semelhança disto, os autores referem que a junção de regimes de meso-maré e macro-maré é também uma simplificação aceitável, sem grandes implicações para a avaliação de perigosidade.

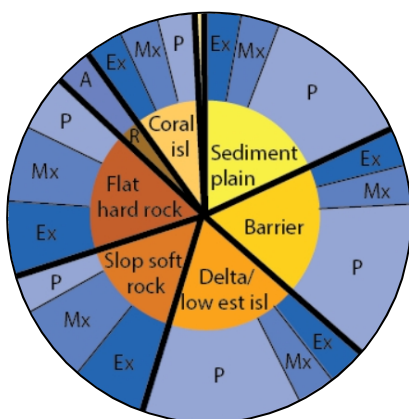


Figura 17 - Classificação da exposição às ondas em cada ambiente costeiro

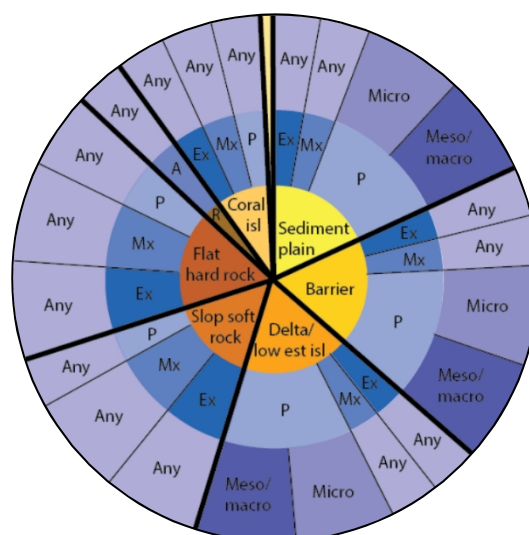


Figura 18 - Classificação da amplitude de maré

A flora e a fauna (**Figura 19**) são tidas como fatores importantes para alguns ambientes costeiros no mundo. São apresentadas 9 categorias, a saber, pântano intermitente, mangal

⁴ A designação “nenhuma” aparece na CHW 3.0 com o termo inglês “any” ou abreviatura “A”. Isto ocorre na amplitude de maré, no caso da variável flora/fauna, mas também na variável exposição às ondas.

intermitente, pântano/terraços de maré, mangal/terraços de maré, pântano/mangal, áreas com vegetação, áreas sem vegetação, corais e a categoria “nenhuma”. A respeito da flora e fauna, Appelquist *et al.* (2016) salientam os seguintes aspectos na classificação:

- I) Os mangais/terraços de maré, os mangais intermitentes, os pântanos/terraços de maré e os pântanos intermitentes estão associados às planícies sedimentares, sistemas de barreira e deltas/ilhas estuarinas.
- II) As áreas de mangal/terraços de maré são aplicadas a condições de meso/macro-maré, ao passo que os mangais intermitentes são aplicados a áreas em regimes de micro-maré;
- III) As áreas de pântano/terraços de maré são aplicadas a condições de meso/macro-maré, enquanto os pântanos intermitentes são associados ao regime de micro-maré;
- IV) Os pântanos/mangais são aplicados em áreas costeiras protegidas e a plataformas rochosas de sopé que possuem faixas de vegetação de mangal.
- V) As categorias “áreas sem vegetação” e “áreas com vegetação” são aplicadas apenas a arribas de material brando uma vez que, segundo Appelquist *et al.* (2016), a vegetação nas vertentes das arribas de material brando desempenham um papel importante na sua definição de arribas costeiras. Quando a vertente se encontra com menos de 25% de vegetação é considerada sem vegetação. A situação inversa determina uma arriba de material brando com vegetação.
- VI) A categoria corais é aplicada nas plataformas rochosas de sopé e nas arribas talhadas em material resistente;
- VII) Determinadas espécies de flora têm importância relevante ao nível dos ambientes costeiros, como é o caso da *Ammophila arenaria*, por exemplo. Contudo, nem sempre isso se verifica. Assim sendo, a designação “nenhuma” é aplicada quando esta variável não tem importância funcional no ambiente costeiro.

O balanço sedimentar é uma variável fundamental na caracterização da morfodinâmica das áreas litorais. Esta variável possui duas categorias principais, por um lado uma situação de equilíbrio/déficit e, por outro, uma situação excedentária. Para as áreas de arriba talhada em material resistente e para as plataformas rochosas de sopé não é tido em linha de conta o balanço sedimentar, mas sim a presença ou não de praias. Há nesta categoria que mencionar que a geomorfologia costeira engloba as formas de relevo concebidas como sistemas. Esses sistemas existem na dependência do balanço sedimentar que é um fator condicionante de alguns dos sistemas costeiros. Na **figura 19** o balanço sedimentar corresponde ao segundo anel mais periférico.

A última variável considerada é o clima de tempestade que basicamente caracteriza a morfodinâmica costeira tendo em conta a influência dos ciclones tropicais. As categorias nesta variável designam, de forma simples, áreas com influência ciclônica e áreas sem influência ciclônica. Contudo, não é tido em consideração a frequência destes eventos extremos. Na **figura 19**, corresponde ao anel mais periférico em tons de cinzento.

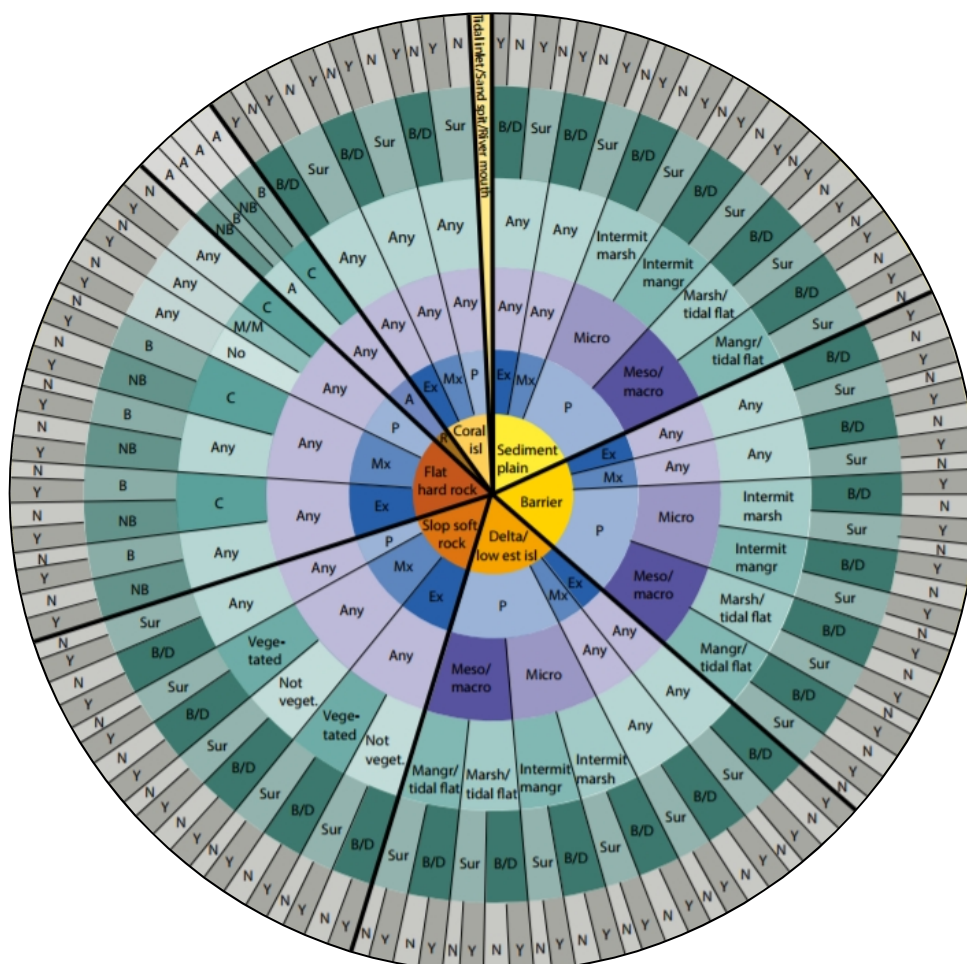


Figura 19 - As seis componentes biogeofísicas já com as variáveis flora/fauna, balanço sedimentar e o clima de tempestade

3.1.2 As avaliações de perigosidade

Os valores de perigosidade encontram-se nos anéis mais periféricos da *Coastal Hazard Wheel 3.0* (**Figura 20**). Quanto às avaliações de perigosidade e à forma como são atribuídas, os autores explicam que, os valores de perigosidade para cada ambiente costeiro são atribuídos com base em uma revisão completa da bibliografia, não só sobre os diferentes sistemas costeiros, mas também sobre a sua resposta aos principais forçadores de natureza climática (Appelquist *et al.*, 2016). Outras metodologias como o já mencionado *Coastal Vulnerability Index (CVI)*⁵, também atribui para diferentes condições costeiras um determinado valor que,

⁵ Para um entendimento mais específico do CVI, ver o capítulo II.

posteriormente é usado para calcular o índice. A diferença é que na *Coastal Hazard Wheel* o valor é atribuído diretamente ao ambiente costeiro, estabelecendo no imediato uma relação entre o ambiente e a perigosidade. Esta ferramenta pretende ser um sistema de primeira-linha, um tudo em um, que pode ser complementado por avaliação e modelação mais detalhada em locais relevantes. Há, portanto, espaço para um aprofundamento da metodologia.

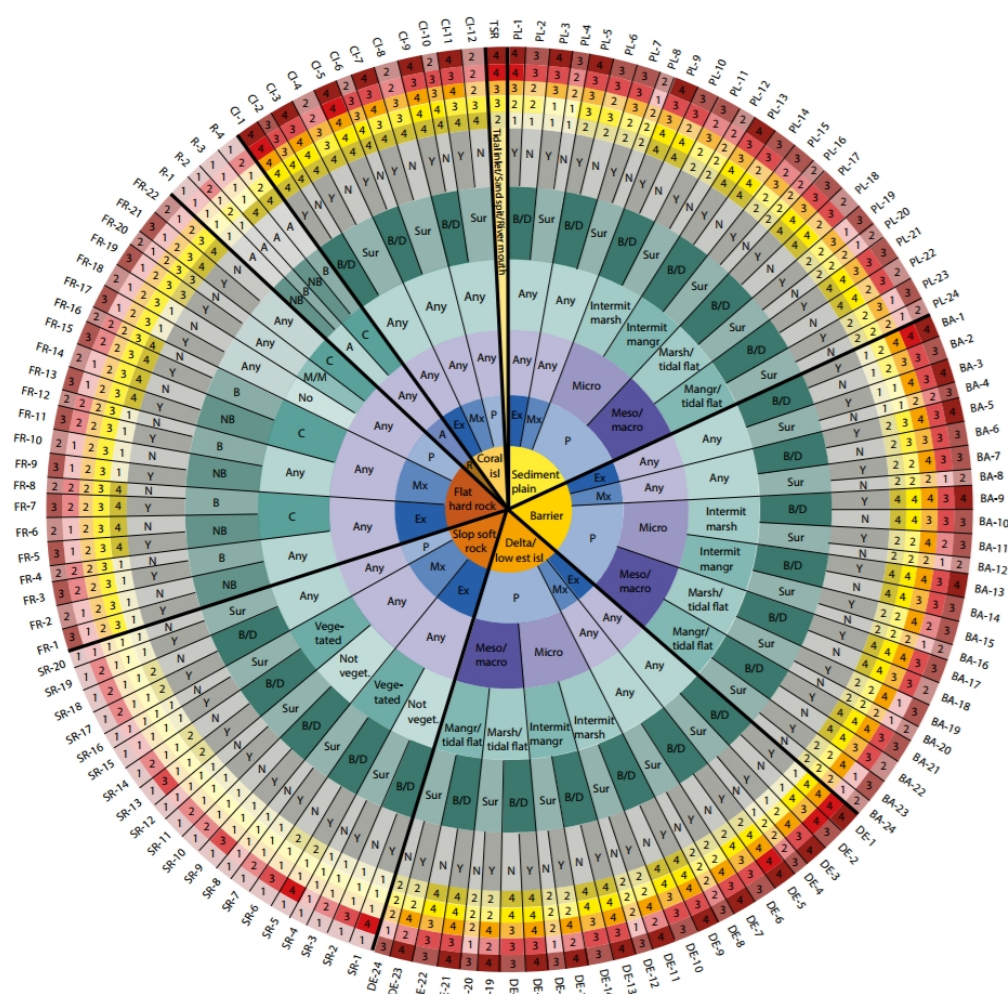


Figura 20 - CHW 3.0 com os valores de perigosidade para cada perigo em cada ambiente costeiro

Em Appelquist *et al.* (2016) são dadas algumas indicações de como estabelecer a relação entre os valores de perigosidade e os ambientes costeiros, com base na revisão bibliográfica. O **quadro 1** resume essa informação, estabelecendo uma relação entre os ambientes costeiros codificados e os respetivos valores de perigosidade de cada perigo costeiro.

3.1.3 A associação com a ocupação/uso do solo e a matriz de opções de gestão costeira

A CHW 3.0 é uma metodologia de perigosidade. Contudo, é possível obter uma ideia dos elementos presentes numa área de estudo. Assim sendo, os vários ambientes costeiros definidos pela CHW 3.0 encontram-se codificados e essa codificação permite uma manipulação

e leitura clara e rápida. Essa codificação possibilita associar a cada ambiente costeiro duas informações importantes, por um lado a ocupação do solo desses ambientes costeiros, e por

Quadro 1 – Características que comandam os valores de perigosidade de cada ambiente costeiro (Adaptado de Appelquist *et al.* (2016))

Perigo	Características costeiras que contribuem para valores <u>elevados</u> de perigosidade	Características costeiras que contribuem para valores <u>baixos</u> de perigosidade
Desregulação de ecossistemas	<ul style="list-style-type: none"> - Vegetação de mangal; - Vegetação de pântano; - Balanço sedimentar: equilíbrio ou déficit; - Vegetação nas vertentes de arriba; - Barras, cordões arenosos depositados pela deriva litoral e a foz dos rios. 	<ul style="list-style-type: none"> - Balanço sedimentar excenduntário; - Sistemas de flora/fauna sem designação; - Elevada exposição às ondas em ambientes sedimentares (“pois esses ambientes representam locais hostis para a biota”). Considera-se que flora nestas áreas é limitada e, a fauna, resume-se a micro fauna cujo habitat é debaixo da superfície da areia pelo que não é provável a ocorrência de grandes desequilíbrios no ecossistema);
Erosão	<ul style="list-style-type: none"> - Ilhas de coral; - Deltas e ilhas estuarinas; - Outras geomorfologias a baixas altitudes; - Arribas de material brando; - Elevada exposição às ondas; - Atividade ciclónica; - Declives costeiros sem vegetação; - Ambientes de praia nas costas de arribas de material resistente; 	<ul style="list-style-type: none"> - Plataformas rochosas de sopé e arribas de material resistente; - Balanço sedimentar excenduntário; - Ausência de atividade ciclónica; - Vegetação nos declives costeiros; - Ausência de ambientes de praia em costas de material resistente;
Intrusão de água salina	<ul style="list-style-type: none"> - Ilhas de coral; - Sistemas de barreira; - Deltas e ilhas estuarinas; - Outras geomorfologias a baixas altitudes; - Atividade ciclónica; - Balanço sedimentar: equilíbrio ou déficit; 	<ul style="list-style-type: none"> - Ausência de atividade ciclónica; - Sistemas de arriba; - Balanço sedimentar excenduntário;
Inundações graduais	<ul style="list-style-type: none"> - Ilhas de coral; - Deltas e ilhas estuarinas; - Outras geomorfologias a baixas altitudes; - Balanço sedimentar: equilíbrio ou déficit; - Exposição às ondas baixa a moderada⁶; - Praias na base de arribas de material resistente; 	<ul style="list-style-type: none"> - Balanço sedimentar excenduntário; - Sistemas litorais de arriba;
Inundações súbitas	<ul style="list-style-type: none"> - Ilhas de coral; - Sistemas de barreira; - Planícies costeiras; - Deltas e ilhas estuarinas; - Plataformas rochosas de sopé; - Balanço sedimentar: equilíbrio ou déficit; - Atividade ciclónica; - Baixas amplitudes de maré; 	<ul style="list-style-type: none"> - Sistemas de arriba; - Balanço sedimentar excenduntário; - Altas amplitudes de maré; - Ausência de atividade ciclónica;

⁶ Embora passível de uma interpretação errada, segundo Appelquist *et al.*, (2016:17), nos litorais expostos “é expectável uma resposta à subida do nível do mar através de ajustes no seu perfil de equilíbrio teórico com a erosão costeira associada, se nenhum sedimento adicional for fornecido à costa. A inundação gradual será, portanto, um efeito secundário da subida do nível do mar. As áreas com exposição baixa, por outro lado, serão particularmente suscetíveis a inundações graduais e, para essas linhas costeiras, o equilíbrio de sedimentos é essencial para sua capacidade de acompanhar a subida do nível do mar através da acumulação de sedimentos verticais. Se houver sedimentos suficientes, os pântanos, mangais e terraços de maré poderão acompanhar a subida do nível do mar através de acreção vertical, enquanto eles provavelmente inundar-se-ão em locais com baixo suprimento de sedimentos”.

outro as opções de gestão de perigo costeiro. A associação da ocupação do solo é importante porque permite ter uma visão da ocupação humana no território. A cada ambiente costeiro, a associação da ocupação do solo é realizada através de códigos de ocupação do solo baseados no projeto europeu de uso e ocupação do solo LUCAS (**Quadro 2**). Assim, mediante determinado ambiente costeiro é possível associar-lhe o uso e ocupação do solo. Por exemplo, o código PL-1: U110, U120 significa que no ambiente 1 de planície costeira⁷ existe uma ocupação de agricultura e silvicultura. Isto permite conjugar os ambientes costeiros com a sua ocupação, fornecendo uma visão completa de uma determinada área costeira.

Quadro 2 – Códigos do projeto europeu LUCAS (Adaptado de Appelquist *et al.* (2016))

Ocupação do solo	Código padrão
Agricultura	U110
Silvicultura	U120
Aquacultura e pesca	U130
Mineração e pedreiras	U140
Produção de energia	U210
Indústria e manufatura	U220
Transportes, redes de comunicação, obras de proteção e armazéns	U310
Tratamento de água e resíduos	U320
Construções	U330
Comércio, área financeira e de negócios	U340
Serviços comunitários	U350
Recreação, lazer e desporto	U360
Áreas residenciais	U370
Sem uso	U400

Esta informação ainda consegue ser mais completa se ao código de ambiente costeiro e uso/ocupação do solo for acrescentado um código referente às opções de gestão de perigo costeiro. Isto vai permitir para cada ambiente costeiro identificar as opções mais relevantes de gestão dos cinco perigos avaliados na *CHW 3.0*. Esse código é baseado numa matriz (**Quadro 3**) que acompanha a *CHW 3.0* e apresenta as opções mais relevantes de gestão costeira para cada ambiente costeiro associado a cada perigo. Ou seja, perante determinado perigo costeiro, num determinado ambiente costeiro, deve ser tomada uma determinada opção de gestão. Por exemplo, perante o perigo de erosão em determinados ambientes de planície sedimentar, a matriz apresenta como opções de gestão a alimentação artificial de praias ou uma gestão de sedimentos fluviais, entre outros.

⁷ A leitura do código PL-1 pressupõe que o leitor não se fique apenas pela informação de que o ambiente costeiro representa uma planície costeira. Deve seguir a *CHW 3.0* e identificar os outros elementos de perigosidade que formam aquele ambiente, como o tipo de exposição às ondas, amplitude de maré e restantes.

Quadro 3 – Matriz de opções de gestão costeira (Appelquist *et al.* (2016)

39

de ambiente costeiro e código de ocupação de solo. Os códigos encontram-se no **quadro 4**. Para uma compreensão do código completo, imagine-se o exemplo R-1: U330, CL. Este código indica que no ambiente 1 de arriba de material resistente existem construções no topo da arriba e já foi implementado uma estabilização da arriba. Pode haver mais do que uma medida de gestão no código, à semelhança da ocupação do solo. Um outro exemplo: BA-2: U370, BE, GR. Este código é referente ao ambiente costeiro de barreira número 2 com áreas residenciais, onde já foi implementada uma alimentação artificial da praia e construídos esporões. Embora não seja indicado, estas medidas em ambientes de barreira permitem inferir problemas relacionados com o perigo de erosão.

Quadro 4 – Medidas de gestão de perigo costeiro (Adaptado de Appelquist *et al.* (2016))

Medidas de gestão de perigo		Código padrão
Alimentação artificial de praia	<i>Beach nourishment</i>	BE
Quebra-mar	<i>Breakwater</i>	BR
Estabilização de arriba	<i>Cliff stabilisation</i>	CL
Buffer de restrição a construção	<i>Coastal setback</i>	CS
Zonamento costeiro	<i>Coastal zoning</i>	CZ
Dique	<i>Dike</i>	DI
Construção e reabilitação dunar	<i>Dune construction/rehabilitation</i>	DU
Gestão de ecossistemas	<i>Ecosystem based management</i>	EC
Sistema flutuante agrícola	<i>Floating agricultural system</i>	FA
Cartografia de suscetibilidade a inundações	<i>Flood mapping</i>	FM
Controlo de inundações	<i>Flood proofing</i>	FP
Abrigos às inundações	<i>Flood shelter</i>	FS
Sistemas de alerta de inundações	<i>Flood warning system</i>	FW
Gestão dos sedimentos fluviais	<i>Fluvial sediment management</i>	FU
Gestão de águas subterrâneas	<i>Groundwater management</i>	GM
Esporões	<i>Groyne</i>	GR
Molhe	<i>Jetty</i>	JE
Expropriação de terras	<i>Land claim</i>	LA
Realinhamento	<i>Managed realignment</i>	MA
Revestimentos costeiros inclinados	<i>Revetment</i>	RE
Paredão	<i>Sea wall</i>	SE
Barreiras de <i>storm surge</i> ou barragem de fecho	<i>Storm surge barrier/closure dam</i>	ST
Sistemas de alerta de <i>tsunami</i>	<i>Tsunami warning system</i>	TS
Restauração de zonas húmidas	<i>Wetland restoration</i>	WE

3.2 Processo de adaptação e construção da *CHW_{mf}*

3.2.1 Dados e softwares disponíveis

A metodologia que será aplicada neste estudo implica um conjunto de dados de carácter físico para a construção da *Coastal Hazard Wheel modificada (CHW_{mf})*. A par disto, são

necessários dados de base⁸ (**Quadro 5**), particularmente para a produção cartográfica associada a cada variável que faz parte da *CHW_{mf}*. A batimetria foi usada ao longo de toda a cartografia, como um elemento caracterizador da parte submersa, tendo inclusive gerado uma cartografia a respeito da batimetria que consta no capítulo IV. A carta administrativa oficial de Portugal foi utilizada durante a manipulação da informação geográfica, tendo sido utilizado como base cartográfica um modelo de sombreado realizado a partir do modelo digital de terreno, sendo ambos obtidos a partir das curvas de nível e pontos contados. Já o ortofotomapa de 2007, serviu fundamentalmente para a delimitação da área de estudo e para a definição dos sistemas litorais, elemento central da *CHW_{mf}*.

Quadro 5 – Informação geográfica de base

<u>Informação em bruto</u>			<u>Processo de produção de cartografia</u>
Informação geográfica	Escala	Fonte	Cartografia e/ou variáveis resultante
Carta administrativa oficial de Portugal 2016	1:25 000	Direção Geral do Território	Limites administrativos
Batimetria	1:100 000	Instituto Hidrográfico	Informação utilizada em toda a cartografia
Ortofotomapa 2007	1:10 000	Direção Geral do Território	Sistemas litorais

Os dados de carácter físico necessários para a construção da *CHW_{mf}* estão sintetizados no **quadro 6**, e inclui a informação geográfica para o processo de adaptação da *CHW 3.0*. Estes dados estão associados a cada uma das variáveis que vão compor a *CHW_{mf}*. O sistema de informação geográfica utilizado foi o *ArcGis*, versão 10.5 por dois motivos. Primeiramente, a metodologia *CHW 3.0* utiliza o mesmo *software*, fazendo-se acompanhar de um manual explicativo do processamento da informação em sistemas de informação geográfica. Por último, o *ArcGis* possui grandes vantagens ao nível da produção de cartografia para impressão,

⁸ Alguma da informação geográfica de base estava no sistema de coordenadas D73-IPCC e, a utilização do mesmo está relacionada com este facto. Neste contexto e uma vez que a generalidade da informação de base se encontrava em D73-IPCC e para evitar deformações adicionais, devido a processos de transformação, não se efetuou alteração do sistema de coordenadas para o atual (PT-TM06-ETRS89).

e essas vantagens são importantes já que a cartografia é uma componente importante desta dissertação.

O processo de construção da *CHW_{mf}* foi concebido através do *software AutoCAD 2019* criado pela *Autodesk*. É um *software* de desenho auxiliado por computador, como o próprio nome sugere, amplamente utilizado nas áreas da engenharia civil, arquitetura, design, engenha-

Quadro 6 – Síntese da informação geográfica manipulada no processo de construção da *CHW_{mf}*

<u>Informação em bruto</u>			<u>Processo de produção de cartografia</u>
Informação geográfica	Escala	Fonte	Cartografia e/ou variáveis resultante
Carta Militar de Portugal (curvas de nível)	1:25 000	Instituto Geográfico do Exército	Sistemas litorais; Altitude; Declive;
Carta Militar de Portugal (pontos cotados)	1:25 000	Instituto Geográfico do Exército	Sistemas litorais; Altitude; Declive;
Altura das marés (m)	-	Instituto Hidrográfico	Amplitude da maré
Altura significativa das ondas (<i>H_s</i>)	-	<i>Windguru</i>	Exposição às ondas; Exposição aos temporais;
Balanço sedimentar	-	Bibliografia	Ambientes costeiros com o balanço sedimentar

ria geográfica, entre outros. Este software permitiu desenhar a *CHW_{mf}* de raiz, atribuindo-lhe todas as características desejadas como por exemplo tamanho, cor e texto. A **figura 21**, demonstra o processo de construção da *CHW_{mf}* numa fase em que estava a ser introduzida a variável do balanço sedimentar, faltando a variável exposição a temporais, os anéis de perigosidade e a legenda.

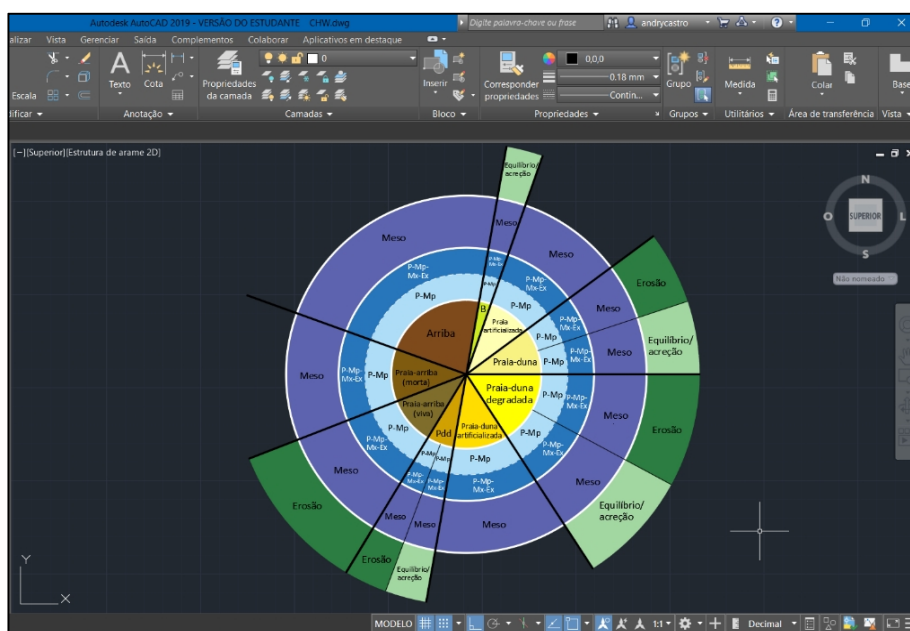


Figura 21 - Janela parcial do AutoCAD 2019 que ilustra o processo de construção da CHW_{mf}

3.2.2 Fundamentação da escolha das variáveis

O desenvolvimento da CHW_{mf} passou por uma adaptação da $CHW 3.0$. Para isso, foram escolhidas variáveis para a avaliação da perigosidade. Utilizou-se a variável sistemas litorais como centro da roda e como elemento indispensável do mesmo. Nesta variável houve a necessidade de alteração da terminologia utilizada na $CHW 3.0$. Uma vez que a terminologia empregue na $CHW 3.0$ (*geological layout*) não é a mais correta, já que a metodologia original refere formas litorais, foi adequado a alteração e utilização dos termos geomorfologia litoral ou sistemas litorais. A segunda variável, e a segunda mais importante é a exposição às ondas e, teria de ser forçosamente utilizada visto ser a principal fonte de energia. É difícil falar em perigosidade costeira quando não se fala do principal elemento forçador da dinâmica litoral – as ondas. A terceira variável é a amplitude de maré e é importante caracterizá-la dado o papel da maré na potenciação de eventos hidrodinâmicos extremos, seja ela igual ou não para toda a área de estudo. O balanço sedimentar foi considerado e corresponde à quarta variável a aparecer na roda. Esta variável é considerada, não só porque é uma variável utilizada na metodologia original, mas também porque é indispensável em estudos sobre evolução da linha de costa. Por fim, foi considerada a exposição a temporais, sendo esta importante na avaliação da perigosidade a inundação associada a temporais. Esta variável difere um pouco daquilo que é apresentado na $CHW 3.0$, já que a metodologia original está muito relacionada com a atividade de ciclones tropicais. O ponto 3.3.5 explicará outro aspeto diferenciador entre a $CHW 3.0$ e a CHW_{mf} – a frequência dos eventos.

A variável da *CHW 3.0* denominada flora/fauna não foi considerada relevante para esta investigação já que foi considerado que haviam categorias nesta variável que não se adequavam à escala da área de estudo. Num trabalho à escala local torna-se menos provável encontrar litorais com uma grande diversidade biogeográfica. A título de exemplo, não fazia sentido considerar classes como os mangais, pântanos e terraços de maré no arco litoral Caparica-Espichel. Além disso, a flora está subentendida na variável sistemas litorais, uma vez que os sistemas litorais com dunas, dominante ao longo da área de estudo, são desagregadas em subsistemas com base no estado de conservação, nomeadamente da vegetação. O sistema arriba, onde a vegetação é pouco abundante, é outro dos sistemas dominantes.

3.3 Tratamento das variáveis

3.3.1 Definição dos sistemas litorais

A geomorfologia litoral, ou melhor, os sistemas litorais, foi definida com base em inspeção visual do ortofotomapa de 2007 e com apoio da cartografia de declive e altitude. A cartografia de declive e altitude foi gerada a partir da realização de um modelo digital de terreno executada a partir das curvas de nível (com equidistância de 10 metros) e pontos cotados, com uma resolução de 5 metros (células com 25 m²). Não obstante, a realização de modelos digitais de terreno com a combinação de informação vetorial em linhas e pontos promove uma maior qualidade ao modelo.

Posto isto, a definição dos sistemas permitiu a delimitação da área de estudo⁹. Consequentemente, foram definidos nove sistemas:

- I) Arriba;
- II) Praia-arriba (viva);
- III) Praia-arriba (morta);
- IV) Barreira;
- V) Praia artificializada;
- VI) Praia-duna;
- VII) Praia-duna artificializada;
- VIII) Praia-duna degradada;
- IX) Praia-duna destruída.

Estes são sistemas que devem ser entendidos como sistemas frontais, ou seja, para o interior existem outros sistemas que se ligam a estes. A área da cidade da Costa da Caparica é um bom exemplo já que, para além do sistema de praia artificializada que comporta, existe para o interior uma planície litoral que atualmente não funciona porque está ocupada por

⁹ A delimitação da área de estudo, baseou-se em critérios de delimitação dos sistemas litorais. Assim sendo, os critérios de delimitação dos sistemas litorais encontram-se no capítulo IV, bem como uma caracterização geral.

agricultura e área urbana. Outra consideração importante é de que existiu a necessidade de fazer uma divisão nos sistemas praia-duna que não estão conservados. Atribui-se designações que fornecessem indicação do estado de conservação dos sistemas. Não faria sentido incluir tudo numa só categoria já que, por exemplo, a duna pode estar degradada por ação antrópica e não se encontrar artificializada. Pode, por exemplo, tratar-se de um campo dunar parcialmente fragmentado que está em funcionamento e pode regenerar-se. Sendo assim, alguns sistemas litorais apresentam as designações “artificializado”, “degradado” e “destruído”, sendo estas designações qualitativas cuja classificação foi efetuada com interpretação (empírica) de campo. O grau de artificializado aponta para um sistema que apresenta um grau acentuado de artificialização do litoral, com a presença evidente e massiva de estruturas de proteção pesada, desde esporões, diques e enrocamentos. O grau de degradado e destruído apontam para sistemas litorais que, não estando artificializados, encontram-se com problemas na sua conservação. Diferem qualitativamente um do outro no estado da duna (densidade e fragmentação de duna) e densidade de estruturas humanas (construções, trilhos de pisoteio, caminhos para carros) assentes em áreas dunares. Portanto, áreas com muito fraca densidade de duna, fortemente fragmentada e/ou com forte presença humana são consideradas áreas de duna destruída. Por contraste, áreas com alguma densidade de duna, parcialmente fragmentada e/ou com pouca presença humana são consideradas áreas de duna degradada. As áreas que apresentem opções de gestão costeira que não impliquem uma artificialização massiva do litoral, tais como a utilização de armadilhas de areias, não são tidas como sistemas litorais artificializados.

É de referir ainda que os sistemas considerados foram ainda divididos em sistemas naturais e sistemas modificados (onde estão incluídos os degradados, destruídos ou artificializados) para facilitar a discussão de resultados.

Na *CHW_{mf}*, esta variável encontra-se ao centro, partindo desta a sua leitura, em direção à periferia. A representação dos sistemas litorais no que diz respeito ao seu tamanho na roda, é proporcional à extensão de linha de costa de cada sistema litoral, pelo que o ângulo de cada sistema no círculo foi calculado em função da extensão da linha de costa. As cores na roda procuram ser o mais parecido com a metodologia original, sendo que esse esforço é transversal a todas as restantes variáveis. Na roda, nem sempre foi possível colocar a totalidade do nome dos sistemas litorais, sobretudo por questões de espaço, sendo que esta situação se aplica a todas as variáveis. Por isso, possíveis abreviações serão acauteladas na legenda que acompanha a *CHW_{mf}*, legenda que também foi concebida dentro do programa *AutoCAD 2019*.

A representação dos sistemas litorais na CHW_{mf} é acompanhada por uma representação cartográfica dos mesmos. Aqui é possível notar a área de cada sistema. Já a representação cartográfica dos ambientes costeiros tem em conta a linha de costa e não a área do sistema.

3.3.2 Definição da exposição às ondas

A exposição às ondas foi obtida com base em dados de altura significativa das ondas (H_s) do *Windguru*. O *Windguru* é um recurso na internet que permite aceder a previsões de várias variáveis, sendo que essas previsões são baseadas em modelos meteorológicos. Entre as variáveis é possível obter informação relativa ao litoral, nomeadamente do período, direção e altura significativa da onda em metros. Essa informação é obtida através de modelação, sendo que o modelo utilizado é o *NWW3 (NOAA Wave Watch III)*. Este modelo espectral de terceira geração é concebido para a descrição e propagação de ondas. Para além de previsões diárias, o *Windguru* dispõe de um arquivo de dados de onde foram retirados os dados necessários para esta variável.

Utilizou-se a H_s de 3 em 3 horas desde dia 1 de janeiro de 2007 até 31 de dezembro 2017 para a estação da Costa da Caparica e Fonte da Telha. Para além destas, a praia das Bicas possuía dados para o período 2012-2017 pelo que foram avaliados também os dados desta estação. Os dados provenientes da modelação revelaram pouca variação da H_s entre as estações, com variações de escassas décimas ou mesmo nenhuma variação (**Quadro 7**). Esta quase nula variabilidade levou a uma extrapolação a todo o arco litoral dos valores verificados nas estações da Costa da Caparica, Fonte da Telha e Praia das Bicas.

Quadro 7 – Exemplificação da variação da H_s entre estações a 11 e 12 de dezembro de 2017

<u>Costa da Caparica</u>	00h	03h	06h	09h	12h	15h	18h	21h
11,12,2017	5,5	6,5	6,9	7	6,9	6,8	6,5	6,1
12,12,2017	5,7	5,3	4,9	4,5	4,2	4	3,7	3,5
<u>Fonte da Telha</u>	00h	03h	06h	09h	12h	15h	18h	21h
11,12,2017	5,2	6,3	6,8	7	6,9	6,7	6,5	6,1
12,12,2017	5,7	5,3	4,9	4,6	4,2	4	3,7	3,5
<u>Praia das Bicas</u>	00h	03h	06h	09h	12h	15h	18h	21h
11.12.2017	5,3	6,4	6,9	7	6,9	6,7	6,5	6,1
12.12.2017	5,7	5,3	4,9	4,6	4,2	4	3,7	3,5

Outra situação a salientar é a variabilidade do comportamento da H_s noutro domínio que não a variabilidade acima referida. Essa variabilidade manifestava-se sazonalmente, existindo períodos onde a H_s atingia valores elevados e outros períodos onde os valores eram baixos. Os **quadros 8 e 9** são ilustrativos dessa situação. Note-se situações de verão com um

regime de ondas de baixa energia em contraste com situações de inverno de alta energia. Havia, portanto, necessidade de diferenciar a realidade do verão da realidade do inverno marítimo. Neste sentido, o inverno marítimo foi definido entre os meses de outubro e abril, ao passo que o verão foi definido entre maio e setembro. No processo de manipulação de dados, a identificação de situações de temporal para o período 2007-2017 foi o elemento que permitiu esta divisão. Nos meses de verão identificados acima não se verificaram situações de temporal. Na CHW_{mf} será possível verificar uma divisão a tracejado que remete para esta necessidade de avaliar a exposição às ondas em dois períodos do ano com comportamentos distintos a este respeito. Assim sendo, na CHW_{mf} é possível observar uma divisão interna a duas tonalidades de azul, sendo o azul mais escuro o inverno marítimo e o azul mais claro o verão.

Quadro 8 – Exemplificação da variação sazonal da H_s na Costa da Caparica entre 24 de julho e 30 de julho de 2008 e entre 20 de janeiro e 26 de janeiro de 2009

Costa da Caparica	00h	03h	06h	09h	12h	15h	18h	21h
24/07/2008	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1	1	1
25/07/2008	1	0,9	0,9	0,9	0,9	1	1	1,1
26/07/2008	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
27/07/2008	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,3
28/07/2008	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,6
29/07/2008	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7
30/07/2008	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
20/01/2009	7	7,4	7,8	8,1	8,3	8,4	8,6	8,7
21/01/2009	8,6	8,6	8,6	8,5	8,2	7,9	7,4	6,9
22/01/2009	6,4	5,9	5,5	5,2	4,9	4,7	4,5	4,4
23/01/2009	4,3	4,3	4,3	4,4	4,4	4,6	4,8	5
24/01/2009	5,3	5,6	5,7	6	6,4	6,6	6,6	6,4
25/01/2009	6	5,6	5,3	5,3	5,9	7,2	8,3	8,7
26/01/2009	8,6	8,4	8,2	8	7,7	7,4	7,1	6,7

Quadro 9 – Exemplificação da variação sazonal da H_s na Fonte da Telha entre 17 de julho e 23 de julho de 2013 e entre 5 de fevereiro e 11 de fevereiro de 2014

Fonte da Telha	00h	03h	06h	09h	12h	15h	18h	21h
17/07/2013	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6
18/07/2013	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,7
19/07/2013	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
20/07/2013	0,8	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,7	0,8
21/07/2013	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	1
22/07/2013	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
23/07/2013	1,2	1,1	1,1	1	1,1	1,2	1,3	1,4
05/02/2014	5,3	5,5	6,3	6,8	6,7	6,3	5,9	5,4
06/02/2014	5	4,7	4,6	4,5	4,6	5	6,3	7
07/02/2014	6,8	6,3	5,7	5,1	4,7	4,3	4,1	3,9
08/02/2014	3,9	4,1	4,3	4,5	5	6,3	7,1	7
09/02/2014	6,7	6,3	5,9	5,6	5,6	6,1	6,9	8,5
10/02/2014	9,2	8,7	7,9	7	6,3	5,7	5,2	4,9
11/02/2014	4,6	4,3	4,3	4,5	4,5	4,3	4	3,8

A quase nula variabilidade de H_s entre as estações analisada espelhada no **quadro 7** levou a uma abordagem diferente em termos de classificação costeira da exposição às ondas, embora fosse mantido o critério 12h/ano, isto, é, a altura significativa da onda 12 horas contínuas por ano.

Assim sendo, as categorias de classificação costeira dentro do critério da H_s 12h/ano foi a seguinte:

- litorais protegidos - H_s 12h/ano < 2 metros;
- litorais moderadamente protegidos - H_s 12h/ano entre 2-4 metros;
- litorais moderadamente expostos - H_s 12h/ano entre 4-6 metros;
- litorais expostos - H_s 12h/ano > 6 metros.

Estes limiares foram estabelecidos com base na interpretação e manipulação dos dados de *Hs* para o período de 10 anos considerado, tendo em conta os extremos dos dados de forma a garantir que as classes definidas representavam todo o conjunto dos dados. Além disso, o limite superior em Appelquist *et al.*, (2016) - > 3 metros – era demasiado generalizado perante este conjunto de dados que, com frequência, apresentavam situações de *Hs* 12h/ano superiores 6 metros e que excediam, por vezes, os 8 metros.

Perante o conjunto de dados verificou-se que no verão apenas são verificadas situações de litoral protegido e moderadamente protegido. No inverno marítimo são verificadas as quatro situações. A *CHW_{mf}* admite duas possibilidades no verão e as quatro possibilidades no inverno marítimo para todas as áreas do arco litoral em estudo.

3.3.3 Definição da amplitude de maré

A amplitude da maré constitui a terceira variável da *CHW_{mf}*. A amplitude de maré foi obtida com base nos dados de maré do Instituto Hidrográfico. O período considerado abrange o período utilizado na variável anterior. Os dados correspondem aos marégrafos de Cascais e de Lisboa, uma vez que eram os marégrafos mais próximos da área de estudo. Para este período de 10 anos foram retirados cerca de 15 500 registos da altura da maré de cada um dos marégrafos.

No que diz respeito à localização dos marégrafos, refere-se que o marégrafo de Lisboa está localizado no estuário do Rio Tejo, junto ao cais do Terreiro do Paço. Está localizada a 38° 42,69' N e a 9° 07,44' W, *datum* europeu (ED50). A altura da maré neste marégrafo é referida ao zero hidrográfico (2,20 metros abaixo do nível médio adotado). O marégrafo de Cascais está localizado na marina de Cascais a uma latitude de 38° 41,67' N e longitude de 9° 24,99' W, *datum* europeu (ED50). A altura das marés está referida ao nível do zero hidrográfico (2,08 metros abaixo do nível médio adotado).

Perante as séries de ambos os marégrafos, calculou-se a amplitude de maré com base no menor valor de baixa-mar e com base no maior valor de preia-mar. No marégrafo de Cascais o menor valor de baixa-mar foi de 0,27 metros registado no dia 1 de março de 2010 e no dia 9 de setembro de 2010. O valor mais elevado de preia-mar foi de 3,97 metros no dia 2 de março de 2010 e no dia 9 de setembro de 2010. No que diz respeito a Lisboa, o valor mínimo de baixa mar foi de -0,04 metros registado no dia 1 de novembro de 2014. Já o valor mais elevado de preia-mar foi de 4,38 metros, tendo sido verificado a 29 de setembro de 2015. Como base nestes valores, foi calculada a amplitude de maré para os dois marégrafos, tendo sido obtidas amplitudes de maré de 3,70 metros e 4,42 metros para Cascais e Lisboa

respetivamente. A construção de dois maregramas permitiu identificar visualmente os valores extremos acima referidos.

Com base apenas no valor de Cascais (3,70 metros) e na bibliografia, classificou-se o regime de maré quanto à amplitude da área de estudo. Apenas se considerou Cascais devido à maior proximidade geográfica face a Lisboa. O facto do marégrafo de Lisboa estar situado dentro de um estuário, também contribuiu para a desconsideração deste visto que as características de confinamento de um estuário influenciam a amplitude da maré. A par disto, e como complemento informativo, averiguou-se o regime de maré quanto ao período.

Perante a amplitude de 3,70 metros e uma consequente classificação deste valor em regime de amplitude de meso-maré, assumiu-se todo o arco litoral Caparica-Espichel como área sob influência do regime acima referido. Na CHW_{mf} é possível observar a classificação meso-maré com a designação “meso” (com uma cor roxa) para todos os sistemas litorais e consequentemente para todos os ambientes costeiro. Esta variável, embora igual em todos os ambientes costeiros, não foi retirada da CHW_{mf} dado que as marés têm relevante impacto no desenvolvimento de vários processos costeiros, quando comparados com outras variáveis que foram excluídas deste estudo. Assim, neste contexto e para uma eventual atualização futura na CHW_{mf} , a variável, embora com um funcionamento neutro, foi incluída.

3.3.4 Definição do balanço sedimentar

O balanço sedimentar foi obtido através da leitura da bibliografia que forneceu indicações importantes acerca desta variável na área de estudo. Para isso, o estudo do Grupo de Trabalho Litoral (Santos *et al.*, 2014) foi muito importante já que apresenta o balanço sedimentar para o Portugal continental na situação de referência e na situação atual. Segundo a mesma fonte, a situação atual representa as últimas duas décadas, ao passo que a situação de referência remete para a situação anterior a uma perturbação antrópica. Considerou-se a situação atual.

Assim sendo, as classes do balanço sedimentar foram duas, a saber, equilíbrio/acreção e erosão. Ao contrário da $CHW 3.0$ que inclui na mesma classe situação de equilíbrio e erosão, a CHW_{mf} considera sensato incluir equilíbrio e acreção na mesma classe. A situação de erosão deve ficar isolada já que é necessário espacializar claramente as áreas com problemas de erosão. É de salientar ainda que os resultados do Grupo de Trabalho Litoral e outros, são apresentados neste ponto para justificar as opções tomadas na definição desta variável.

Após a definição de classes, classificou-se toda a área desde a Cova do Vapor até à praia da Saúde com a classe “erosão”. Esta área pertence à subcélula 4b do balanço sedimentar apresentado em Santos *et al.* (2014) e corresponde ao estuário exterior do Tejo.

Para esta subcélula os autores referem que foi introduzido um défice sedimentar de origem antrópica sobretudo a partir da segunda metade do século XX. Outros estudos atestam esta evolução (Lira *et al.*, 2016). O limite meridional desta classificação parece ser a praia da Saúde. Isto confere com as conclusões do estudo de Taborda *et al.* (2014:644) que referem que a sul da praia da Saúde “o sistema adota uma configuração de equilíbrio”, pelo que a praia da Saúde marca a transição entre o setor classificado com “erosão” e o setor a sul da desta. Essa configuração de equilíbrio é verificada desde da praia da Saúde até “uma fronteira entre a praia do Meco e a lagoa de Albufeira” (Taborda *et al.*, 2014:644). A classe equilíbrio/acreção foi, portanto, aplicada desde a praia da Saúde à fronteira Meco-lagoa de Albufeira, sendo que essa fronteira corresponde ao início do sistema de praia arriba que começa a desenvolver-se a sul da lagoa de Albufeira. Além deste estudo, existem outras indicações que permitiram esta classificação como Santos *et al.* (2014) que refere que existem trabalhos que atestam estabilidade entre a Fonte da Telha e praia da Rainha. O estudo de Lira *et al.* (2016) apresenta uma cartografia das taxas de mudança da linha de costa em metros por ano, sendo possível observar tendência para acreção e estabilidade entre a Fonte da Telha e a lagoa de Albufeira. O trabalho de Andrade *et al.* (2013:17) sugerem equilíbrio “entre ganhos e perdas sedimentares no domínio do sistema barra de maré”, a respeito da lagoa de Albufeira. Por fim, desde o cabo Espichel até ao limite Meco-lagoa de Albufeira referido, a área de estudo foi classificada com a classe “erosão” com base em Santos *et al.* (2014) e Taborda *et al.* (2014) que fazem referências a erosão de arribas e “abarrancamento” de vertentes litorais, com particular destaque para a áreas compreendida entre a lagoa de Albufeira e a praia das Bicas.

Salienta-se ainda que esta variável foi cartografada em conjunto com os sistemas litorais para facilitar a leitura desta classificação.

3.3.5 Definição da exposição a temporais

O arco litoral Caparica-Espichel encontra-se exposto a temporais que atingem a costa ocidental portuguesa especialmente durante o inverno marítimo. A duração do inverno marítimo foi a mesma considerada na variável exposição às ondas já que o cálculo da H_s média durante um dia permitiu verificar que não se registaram, para o período 2007-2017, nenhum dia de temporal entre maio e setembro. Os temporais verificados concentram-se apenas entre outubro e abril. O critério de definição de temporal foi baseado em Gama *et al.* (1994), tendo sido considerado temporal a excedência do limiar de 5 metros de H_s .

No tratamento dos dados, foi calculado a frequência dos temporais (número médio de temporais por ano), algo que não é levado em conta na CHW 3.0. A frequência dos temporais é uma informação importante e a representar na CHW_{mf}. Foram averiguadas a duração média e

máxima dos temporais embora não sejam indicadores a incluir na CHW_{mf} . Porém, são importantes indicadores a considerar na discussão de resultados já que os efeitos de um temporal de 1 dia não são os mesmos que temporais de 6 dias.

Além da frequência dos temporais era importante representar a direção dos temporais para identificar áreas mais expostas e áreas abrigadas. Todavia, isso não era possível com as direções dos dados do *Windguru*, já que as direções ali representadas pareciam ignorar a configuração da linha de costa, nomeadamente áreas abrigadas ao regime de ondas. A título de exemplo, para a Costa da Caparica eram muitas vezes apresentadas direções de norte. Embora fora da área de estudo, o litoral de Sesimbra (abrigada a norte) apresentava as mesmas direções de norte. Estas direções eram irrealistas devido à configuração da linha de costa. Para contornar esta situação, recorreu-se às previsões de agitação marítima do Instituto Português do Mar e Atmosfera (IPMA). As previsões de agitação marítima no IPMA são produzidas através de modelação à semelhança do *Windguru*. O que difere é o modelo utilizado. As previsões do IPMA são elaboradas através do modelo *SWAN (Simulating Waves Nearshore)*. Este modelo de terceira geração caracteriza a agitação marítima em águas pouco profundas, como são as áreas costeiras. A profundidade (altura da coluna de água) é uma variável importante na descrição da propagação da onda junto à costa.

Assim sendo, a visualização das previsões do IPMA, sobretudo dos dias de temporais, permitiu inferir três direções possíveis na passagem de temporais. A passagem da depressão *Emma* em Portugal constitui um exemplo de um temporal de sudoeste, tendo atingido todo o arco litoral a partir de sudoeste. A depressão *Gisele* foi um exemplo de temporal de oeste, ao passo que a depressão *Hugo* e *Irene* são exemplos de temporais de noroeste.

Na CHW_{mf} existem duas categorias nesta variável, ambas em tons de cinzento e correspondem às direções dos temporais. Por outro lado, existem áreas que têm unicamente exposição direta a temporais de sudoeste, e por outro lado áreas com exposição a temporais de noroeste, sudoeste e oeste. A representação dos temporais de sudoeste na roda encontra-se realizada a cinzento claro, ao passo que os temporais de noroeste, sudoeste e oeste encontram-se representados a cinzento escuro. A frequência dos temporais está sobre estas direções, estando indicada com uma malha de linhas brancas.

3.4 Avaliação da perigosidade na CHW_{mf} e codificação dos ambientes costeiros

Após a conclusão da construção da parte da CHW_{mf} que diz respeito à classificação costeira já é possível atribuir os valores de perigosidade de cada perigo para cada ambiente costeiro. No que toca aos perigos, são considerados a erosão e as inundações associadas a temporais (inundações de caráter súbito). Os galgamentos do mar são recorrentes em algumas

áreas do arco litoral Caparica-Espichel, nomeadamente com origem em temporais, daí a necessidade de avaliação da perigosidade a inundações. A erosão costeira tem sido ao longo de décadas uma realidade em alguns setores deste arco litoral, levando a recuos de linha de costa consideráveis. É, por isso, importante a sua avaliação.

Sendo assim, a atribuição de valores de perigosidade para a erosão costeira seguiu seguinte critério base: para áreas onde o balanço sedimentar indicava erosão foi atribuído o valor base 2, sendo que para áreas onde a classificação costeira remetia para situações de equilíbrio/acreção foi atribuído o valor base 1. O balanço sedimentar foi, portanto, a variável base para avaliação da perigosidade à erosão costeira. Para além disso, foram considerados outros 3 critérios que aumentaram estes valores base:

- I) Natureza do sistema no que diz respeito ao seu estado de modificação – informação que é possível inferir a partir da CHW_{mf}. Se o ambiente costeiro estiver associado a um sistema modificado deve ser somado 1 valor. Se o ambiente costeiro estiver associado um sistema natural não se verifica alteração;
- II) Orientação dos temporais – informação proveniente da CHW_{mf}. Se o ambiente costeiro estiver exposto às três direções de temporais que afetam o arco litoral em estudo deve ser somado 1 valor. As situações diferentes a esta não levam a nenhum aumento do valor base;
- III) Declive da praia – obtido através de trabalho de campo¹⁰. Nas áreas em que o declive era fraco (Declive inferior a 10°), deve ser somado 1 valor. Foram realizadas três medições ao longo de três perfis transversais: na faixa de espraçamento, na praia propriamente dita e na ante-praia (face da duna). As medições foram realizadas ao longo de toda a área de estudo, com exceção do sistema de arriba.

Assim sendo, entendeu-se fazer uma matriz para proceder a esta avaliação (**Quadro 10**).

Quadro 10 – Matriz para avaliação da perigosidade à erosão costeira

	Valor base	Sistema modificado ou natural	Orientação dos temporais	Declive de praia
Ambientes costeiros em erosão	2	+1 se modificado	+1 se exposto às três direções	+1 se o declive for fraco
Ambientes costeiros em equilíbrio/acreção	1	+1 se modificado	+1 se exposto às três direções	+1 se o declive for fraco

¹⁰ O trabalho de campo foi realizado a 8 de junho de 2018 para medições do declive da praia com recurso a um clinómetro. Anteriormente, foi realizado reconhecimento de campo a 11 de março de 2018. As medições foram efetuadas de forma a garantir que cada ambiente costeiro tivesse pelo menos uma medição.

No que diz respeito às inundações associadas a temporais, a atribuição dos valores de perigosidade teve como variável base a exposição a temporais. Assim sendo, aos ambientes costeiros expostos a temporais de oeste, noroeste e sudoeste foi atribuído o valor base 2. Aos ambientes costeiros expostos diretamente a temporais de sudoeste foi atribuído valor 1 (**Quadro 11**). As variáveis utilizadas para aumentar este valor base foram:

- I) Natureza do sistema - No que diz respeito ao seu estado de modificação – informação que é possível inferir a partir da CHW_{mf} . Se o ambiente costeiro estiver associado a um sistema modificado deve ser somado 1 valor. Se o ambiente costeiro estiver associado um sistema natural não se verifica alteração;
- II) Declive da praia - obtido através de trabalho de campo. Nas áreas em que o declive era fraco (Declive inferior a 10°), deve ser somado 1 valor. Foram realizadas três medições ao longo de três perfis longitudinais: na faixa de espraçamento, na praia propriamente dita e na ante-praia (duna). As medições foram realizadas ao longo de toda a área de estudo, com exceção do sistema de arriba;
- III) Largura da praia – obtida através de medições efetuadas sobre imagens ortorectificadas, considerando desde o limite entre as águas do mar e sedimentos secos até ao contacto com duna;

Quadro 11 – Matriz para avaliação da perigosidade a inundações costeiras associada a temporal

	Valor base	Sistema modificado ou natural	Largura da praia	Declive de praia
Ambientes costeiros expostos a temporais de NW, W e SW	2	+1 se modificado	+1 se praias poucos largas	+1 se o declive for fraco
Ambientes costeiros expostos a temporais de SW	1	+1 se modificado	+1 se praias poucos largas	+1 se o declive for fraco

É de referir que no caso dos ambientes costeiros entre a Cova do Vapor e Costa da Caparica foi aumentado 1 valor devido ao histórico de ocorrências nestas áreas identificado por vários autores, nomeadamente galgamentos e inundações associadas a temporais.

Os valores de perigosidade diferem da metodologia original. Este estudo assume que existem áreas que, perante determinado fenómeno perigoso, poderão evidenciar perigosidade nula. Foi, por esse motivo, necessário incluir uma classe de perigosidade nula. Segue-se a segunda classe de perigosidade, denominada de perigosidade baixa. A classe moderada corresponde à terceira classe de perigosidade, sendo que a classe de perigosidade acima desta é a classe elevada. Por fim, a classe muito elevada atesta o nível mais alto de perigosidade a um determinado fenómeno perigoso. Na CHW_{mf} , os valores de perigosidade encontram-se na

periferia da roda depois da classificação costeira. Importa referir que desses dois anéis, o anel mais periférico corresponde às avaliações da perigosidade a inundação, sendo que o anel mais interior corresponderá às avaliações referentes à erosão costeira. A legenda inclui os valores de perigosidade e cores associadas a cada nível, assim como a indicação do fenómeno perigoso avaliado.

Concluída a atribuição do valor de perigosidade a cada ambiente costeiro na roda, foram codificados os ambientes costeiros com um código que os permite identificar. Esse código encontra-se fora da CHW_{mf} e visa facilitar leituras e associações possíveis. A codificação do ambiente costeiro vai, à semelhança do que ocorre na *CHW 3.0*, permitir a associação de códigos de ocupação/uso do solo. Foi isso que foi realizado, permitindo assim completar a informação relativa aos ambientes costeiros. Os códigos de ocupação/uso do solo atribuídos são os mesmos utilizados na *CHW 3.0*, ou seja, os códigos da classificação do projeto europeu LUCAS.

Em termos cartográficos, e à semelhança do que foi feito para os ambientes costeiros, a representação cartográfica teve em conta a linha de costa e não a área do sistema. Os valores de perigosidade foram associados aos códigos de cada ambiente costeiro através do *ArcGis 10.5* (**Figura 22**).

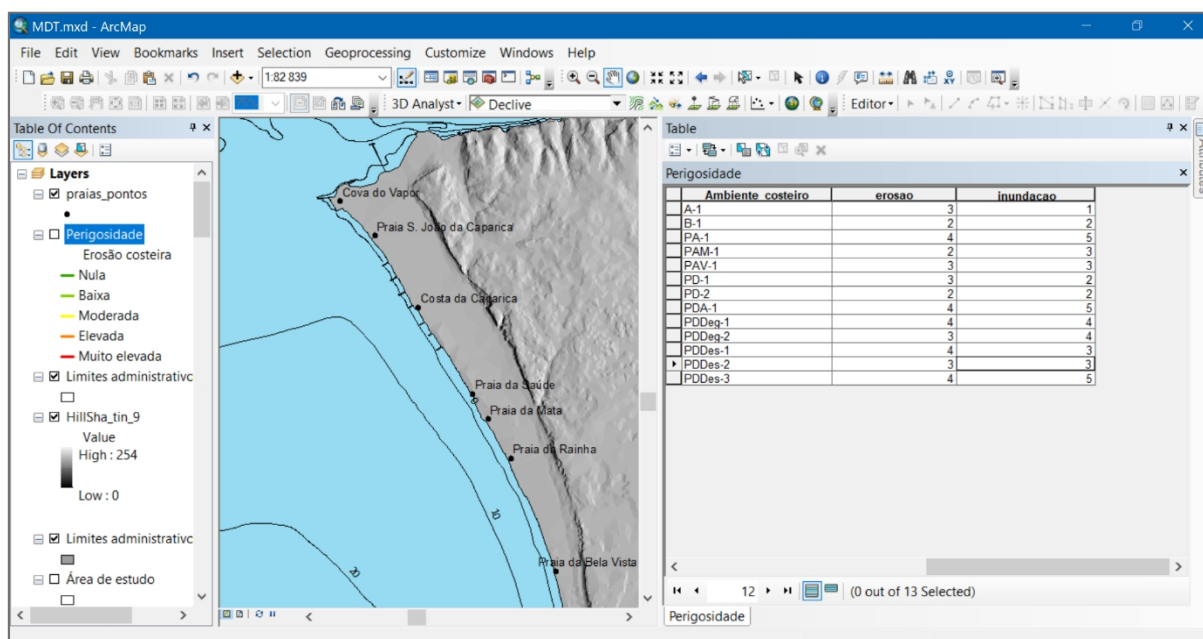


Figura 22 - Atribuição dos níveis de perigosidade aos perigos em análise dentro do *ArcGis 10.5*

A área de estudo está localizada no litoral ocidental da península de Setúbal, nomeadamente o arco Caparica-Espichel. Este arco litoral apresenta duas orientações ao longo da sua extensão de cerca de 35 km. Na parte norte está orientado a noroeste-sudeste, ao passo que na parte sul está orientado a nordeste-sudoeste.

Este litoral pode ser considerado um *hotspot* de perigo costeiro, usando a terminologia de Appelquist *et al.* (2016), pelo que foi o principal motivo da escolha desta área. Ao longo de décadas, algumas áreas deste arco litoral mantiveram uma dinâmica de recuo da linha de costa, tendo sido investido uma quantidade significativa de capital em obras de proteção costeira, particularmente desde o final da década de 1950. O recuo da linha de costa tem muito a ver com a subida do nível médio do mar que, por exemplo, levou à redução da restinga arenosa junto à Cova do Vapor (Veloso-Gomes *et al.*, 2009). Porém, as dinâmicas antrópicas que se desenvolveram em determinadas áreas do arco litoral, impediram o normal funcionamento dos sistemas costeiros. As dinâmicas antrópicas também se manifestaram ao longo do rio Tejo, sobretudo devido à construção de barragens que tiveram consequências no aporte de sedimentos ao litoral. Acrescente-se a este primeiro motivo a diversidade de sistemas litorais que torna o seu estudo aliciante, bem como os seus diversos estados de conservação.

4.1 Definição e delimitação da área de estudo e sistemas litorais

A análise do ortofotomapa de 2007 foi a base para a definição dos sistemas litorais e consequentemente para a definição da área de estudo. Uma cartografia das altitudes e dos declives, obtidas através da informação geográfica indicada no capítulo III, auxiliou na interpretação da área e na definição de uma área de estudo.

Assim sendo, delimitação dos sistemas litorais seguiu critérios diferentes, dependendo das especificidades geomorfológicas de cada um. Os critérios utilizados foram os seguintes:

- I) Nos casos de área de arriba e de praia-arriba o critério usado foi uma delimitação desde a linha de costa até ao topo das arribas (**Figura 23a**). Para além do ortofotomapa, foi fundamental a utilização das curvas de nível, em estrutura vetorial;
- II) No caso de áreas de barreira e laguna, a delimitação foi realizada a partir da linha de costa, contornando toda a área de barreira e a própria laguna numa primeira fase. A delimitação foi realizada pela curva de nível de 10 metros para

definir o limite interior da laguna (**Figura 23b**). Contudo, e neste caso específico, um dos critérios utilizados também, foi considerar apenas os sistemas frontais. Por isso, no caso do sistema de barreira considerou-se apenas a barreira arenosa enquanto sistema frontal, descartando o sistema lagunar que existe para o interior.

- III) Nos casos de áreas de praia-duna, foram usados dois critérios, independentemente do seu estado de conservação. Da área de praia-duna a norte da Lagoa de Albufeira até à sua ocorrência para sul, o critério utilizado para a delimitação foi recorrer à linha de costa e ao limite da duna cinzenta. A norte da área referida, todas as áreas foram delimitadas desde a linha de costa, até à base da arriba fóssil desde que haja manutenção de área dunar até a base da arriba. As grandes interrupções da área dunar entre a linha de costa e a base da arriba fóssil, como áreas agrícolas e áreas densamente edificadas estão excluídas da área de estudo (**Figura 23c**).

Salienta-se ainda que, após a delimitação dos sistemas litorais, os limites da linha de costa foram ajustados com base na Carta Administrativa Oficial de Portugal de 2016, tendo pontualmente alguma influência na largura da praias.



Figura 23 – Exemplos de delimitações de sistemas litorais:

- a) Processo de delimitação de um sistema de arriba no cabo Espichel;
b) Processo de delimitação de um sistema de barreira na lagoa de Albufeira;
c) Processo de delimitação de uma área de praia-duna com uma área agrícola entre a área de duna e a arriba fóssil.

4.2 Caraterização geral da área de estudo e dos sistemas litorais

A área de estudo compreende uma área aproximada de 8,8 km² desde a Cova do Vapor até o Cabo Espichel, abrangendo administrativamente os concelhos de Almada e Sesimbra, distrito de Setúbal. Para o interior prolonga-se pontualmente até à base da arriba fóssil. Está compreendida entre a latitude 38° 39' 57.64"N e os 38° 24' 48.89"N e em longitude entre 9° 15' 48.82"W e os 9° 10' 29.90"W (**Figura 25**).

A diferença geomorfológica entre as áreas mais setentrionais e as mais meridionais da área de estudo é marcante. Predominam altitudes inferiores a 10 metros a norte da praia da lagoa de Albufeira, devido à natureza geomorfológica destas áreas, que correspondem a litoral baixo e arenoso, sobretudo da Fonte da Telha até à Cova do Vapor. Entre a lagoa de Albufeira e a praia das Bicas, predominam áreas de litoral arenoso com presença de arribas vivas de material margoso, calcário, arenoso e até argiloso do miocénico (Cruces *et al.*, 2002)

A sul da praia da Bicas até o Cabo Espichel desenvolve-se uma área de arriba viva (**Figura 24**) talhada em rochas carbonatadas (de idade jurássica e cretácica), correspondendo a material mais resistente e de evolução mais lenta do que aquele que se verifica em áreas de praia-arriba. O comando da arriba aumenta de norte para sul, atingindo valores próximos de 130 metros (Ramos-Pereira, 1988) e o declive predominante excede os 30°, atingindo valores superiores a 70° no cabo Espichel (**Figura 25 e 26**). Em termos geomorfológicos, o cabo Espichel situa-se na plataforma litoral, nível culminante de um aplanamento perfeito (Ramos-Pereira, 1988).

É de salientar ainda diferenças marcadas entre duas áreas de praia-arriba. A base das arribas a sul da lagoa de Albufeira praticamente não têm vegetação associada (**Figura 27**), ao



Figura 24 – Área de arriba junto ao cabo Espichel. A ondulação na imagem está associada à influência da depressão Félix em Portugal (Data da imagem: 11 de março de 2018)

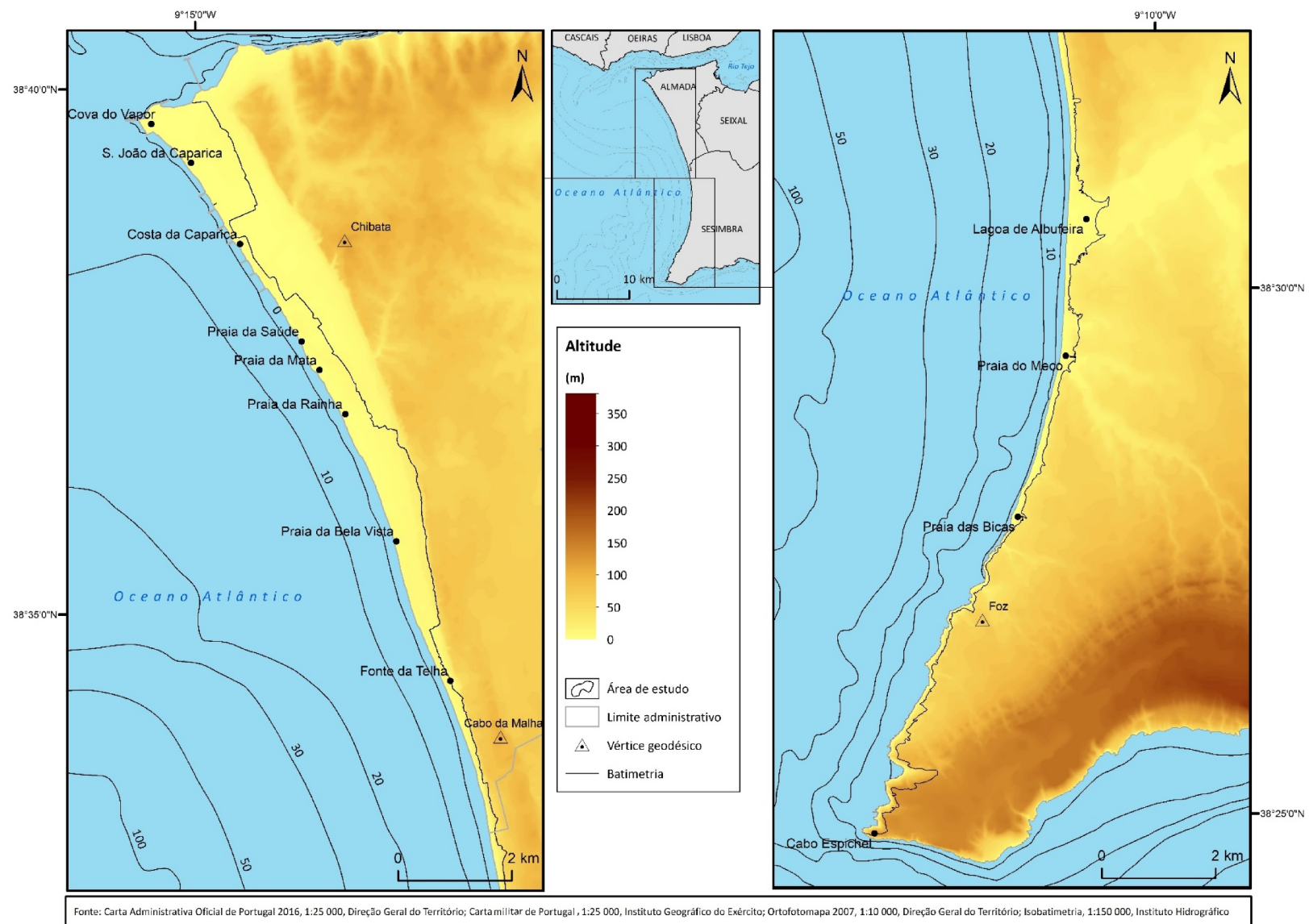


Figura 25 – Altitude da área de estudo

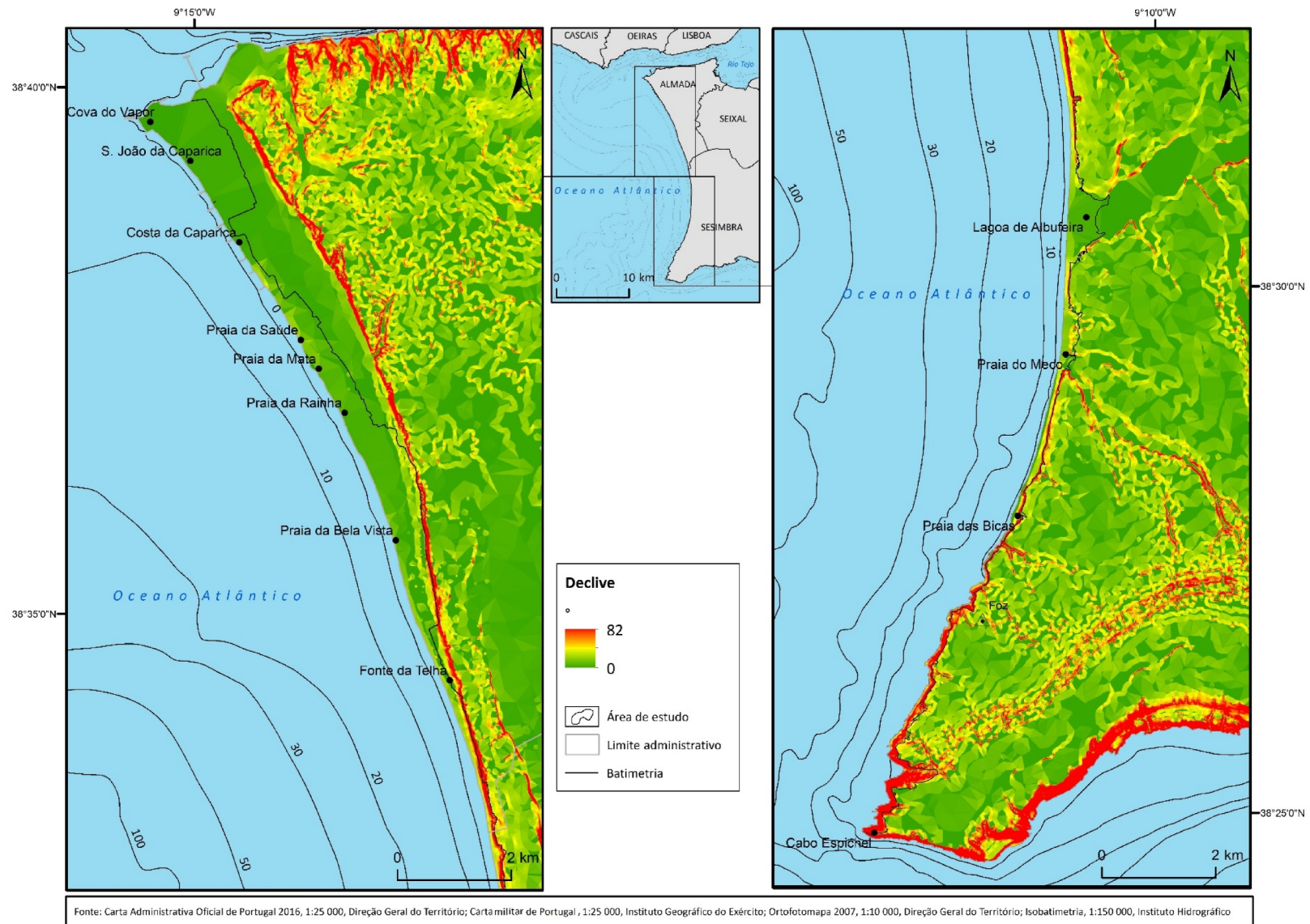


Figura 26 – Declive da área de estudo

passo que as áreas de praia-arriba a norte da lagoa de Albufeira têm vegetação na sua base. Essa vegetação ocorre em acumulações de areias eólicas em talude.



Figura 27 – Sistema de praia-arriba na praia das Bicas (Data da imagem: 11 de março de 2018)

4.3 Caracterização da hidrodinâmica local: clima de agitação marítima e batimetria

O clima de agitação marítima, a propagação das ondas, a deriva litoral e a batimetria são diferentes, não só ao longo do próprio arco litoral, mas também no contexto da costa ocidental portuguesa. A respeito da costa ocidental portuguesa, a direção de propagação predominante das ondas é de noroeste para sudeste (**Figuras 28a e 28b**). Considerando um ano civil, são 280 dias os que verificam esta situação (Ramos-Pereira, 2001). Como consequência deste regime, a incidência oblíqua das ondas na costa gera uma corrente de deriva litoral de direção norte-sul, sendo um importante mecanismo de distribuição dos sedimentos ao longo da costa. Já a direção de propagação da ondulação no arco litoral Caparica-Espichel é peculiar, devido ao abrigo face a este regime de ondulação. O promontório Lisboa-Cascais aplica às ondas dominantes de noroeste um efeito de difração e a batimetria promove refração das ondas, que incide na área da Cova do Vapor e Costa da Caparica com uma direção de propagação de oeste ou de sudoeste. Quando assim é, ocorre uma inversão da deriva litoral, passando a ter uma direção de sul para norte na parte setentrional do arco. Esta inversão dá-se a sul da Costa da Caparica (Teixeira, 1990).

Para além da direção de propagação das ondas de noroeste, há que referir também a importância do regime de ondas de oeste (**Figuras 28c e 28d**) e de sudoeste, induzido por depressões a sudoeste da península Ibérica e a superfícies frontais de direção sudoeste-nordeste. A **figura 28e** é um exemplo ilustrativo dessa situação, sendo possível observar um

regime de ondas de sudoeste associado a alturas significativas da onda próximas de uma situação de temporal na costa ocidental portuguesa. Acrescente-se que esta situação está relacionada com a deslocação da depressão *Emma* do arquipélago dos Açores em direção ao território continental português, induzindo o regime de ondas já mencionado.

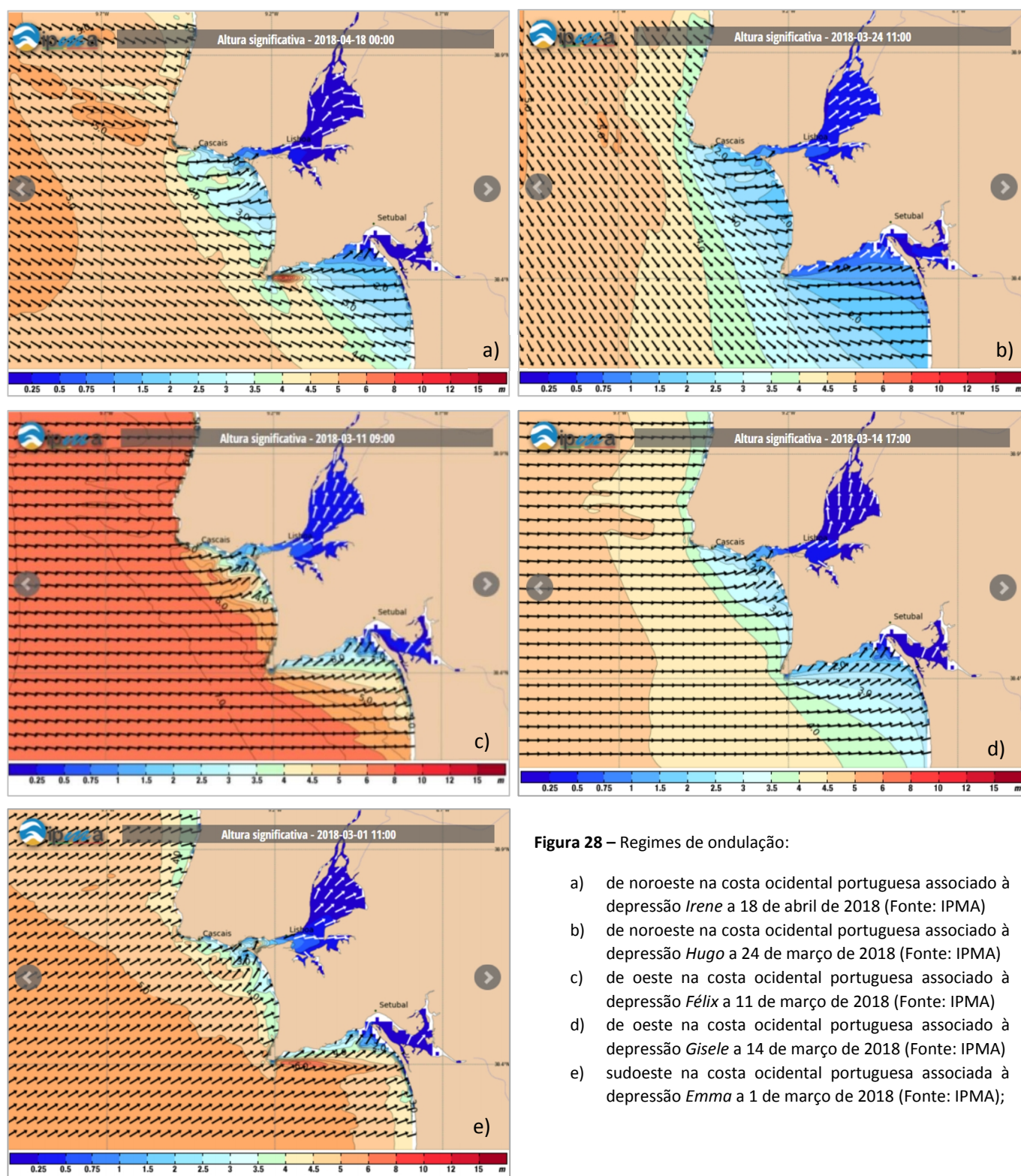
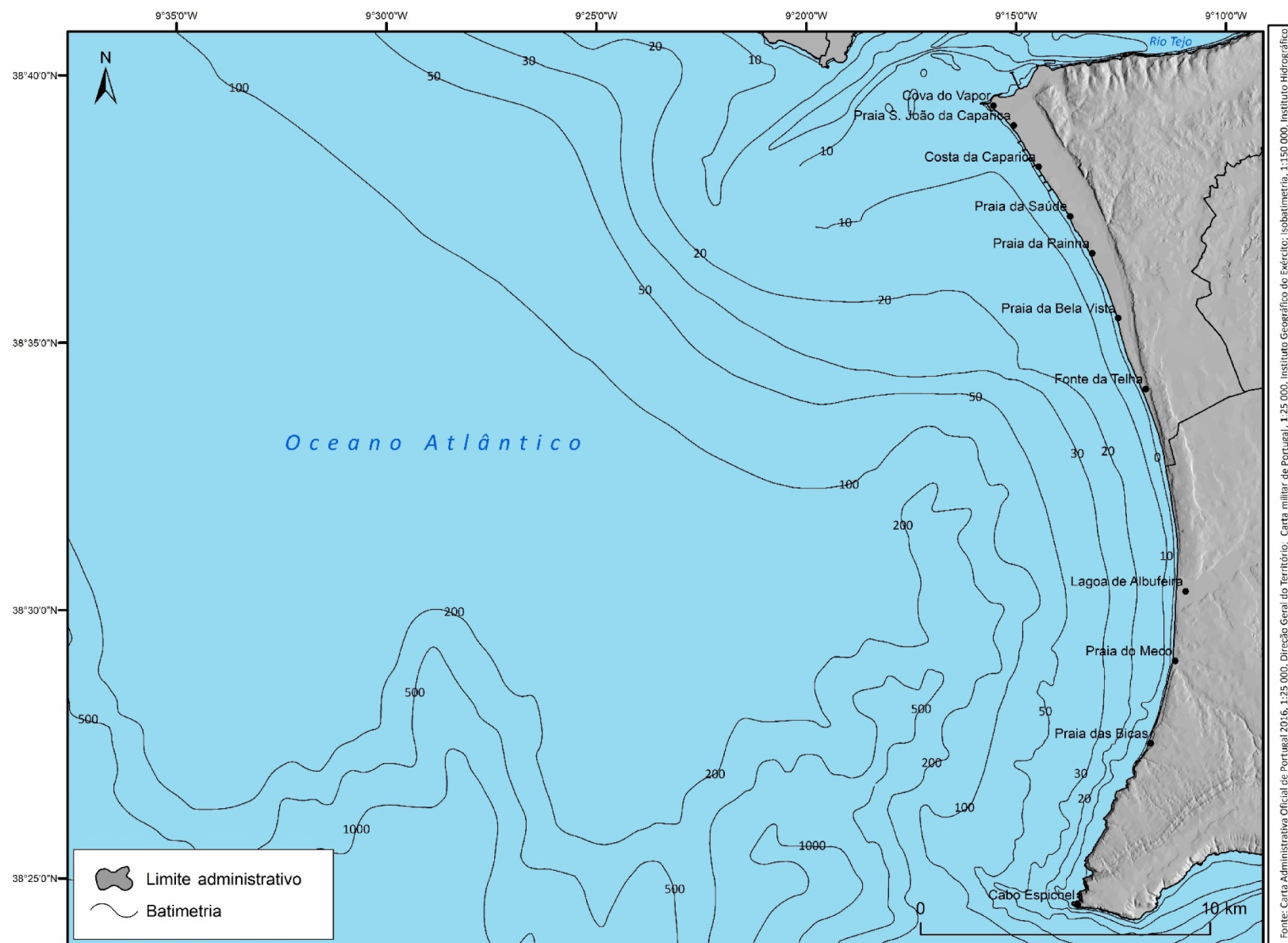


Figura 28 – Regimes de ondulação:

- a) de noroeste na costa ocidental portuguesa associado à depressão *Irene* a 18 de abril de 2018 (Fonte: IPMA)
- b) de noroeste na costa ocidental portuguesa associado à depressão *Hugo* a 24 de março de 2018 (Fonte: IPMA)
- c) de oeste na costa ocidental portuguesa associado à depressão *Félix* a 11 de março de 2018 (Fonte: IPMA)
- d) de oeste na costa ocidental portuguesa associado à depressão *Gisele* a 14 de março de 2018 (Fonte: IPMA)
- e) sudoeste na costa ocidental portuguesa associada à depressão *Emma* a 1 de março de 2018 (Fonte: IPMA);

O clima de agitação marítima no litoral da área de estudo é caracterizado por ser de alta energia. Tem alturas significativas da onda entre 0,7 e 2,6 metros, com uma altura máxima da onda entre 1,2 e 4,1 metros, sendo que o período da onda varia em torno dos 5 a 9 segundos (Ramos-Pereira, 2006). São valores médios que no inverno são frequentemente ultrapassados e no verão, só raramente são atingidos estes valores (capítulo III). O arco Caparica-Espichel enquanto área litoral ocidental de Portugal, enfrenta situações de temporal quando a altura significativa das ondas atinge excede os 5 metros (Gama *et al.*, 1994).

A batimetria é um importante fator a caracterizar, já que as características do fundo marinho têm influência na propagação das ondas. Porém, a batimetria é muito variável quando o fundo é constituído por sedimentos móveis. O estuário exterior do Tejo, junto ao ilhéu do Bugio, é um exemplo de forte variação batimétrica devido a fatores naturais como a deriva litoral sul-norte no setor Caparica-Espichel e o aporte de sedimentos do rio Tejo, mas também devido a fatores antrópicos como a dragagens e extrações de areia e a alimentação artificial de praias próximas. A complexidade da batimetria junto à área de estudo não se resume à variabilidade de sedimentos. A batimetria conjuga a foz do rio Tejo com a ação do canhão de Cascais e o canhão de Lisboa, estes últimos dois desempenhando um papel importante no que toca à energia das ondas. O canhão de Lisboa, por exemplo, tem influência no comportamento dos temporais de sudoeste já que o canhão está orientado a sudoeste e possui uma extensão suficiente para estabelecer essa influência (Jaranović, 2017). As menores profundidades encontram-se junto à foz do rio Tejo com valores de aproximadamente 10 metros. Junto à Cova do Vapor, os mesmos 10 metros de profundidade são verificados numa reta perpendicular à linha de costa de 7 quilómetros. Junto ao campo de esporões a profundidade até aos 10 metros prolonga-se 1 quilómetro para oeste. Para sul até ao cabo Espichel os 10 metros de profundidade não chegam a 1 quilómetro em linha reta de qualquer ponto da costa. Na lagoa de Albufeira, a mesma reta perpendicular à linha de costa de 7 quilómetros utilizada na Cova do Vapor, atinge profundidades superiores a 200 metros (**Figura 29**), ou seja, maior profundidade. É do conhecimento científico que áreas com maior profundidade, são áreas que permitem a propagação sem constrangimentos da onda, mantendo as características, nomeadamente a sua energia. Assim sendo, de forma geral a metade meridional do arco litoral Caparica-Espichel apresenta profundidades maiores junto à costa.



Fonte: Carta Administrativa Oficial de Portugal 2016, 1:25 000, Direção Geral do Território; Carta militar de Portugal, 1:25 000, Instituto Geográfico do Exército; Isobalimetria, 1:150 000, Instituto Hidrográfico

Figura 29 – Batimetria da área junto ao arco litoral Caparica-Espichel

5.1 A espacialização dos sistemas litorais

A metodologia seguida permitiu chegar a um resultado preliminar – um mapa dos sistemas litorais da área de estudo. Foram identificados 9 sistemas litorais ao longo do arco litoral Caparica-Espichel, entre sistemas naturais e sistemas modificados, onde atuam os processos hidrodinâmicos. Não foram identificados sistemas de delta e de coral, o que é uma diferença assinalável ao que a *CHW 3.0* prevê. Assim sendo, de norte para sul, identificam-se os seguintes sistemas litorais:

I – Sistema praia-duna artificializada – Este sistema tem uma extensão de linha de costa de 4 329 metros, sendo a área da Cova do Vapor e São João da Caparica os únicos setores representativos deste sistema. Prolonga-se para sul, incluindo o primeiro esporão do campo de esporões da Costa da Caparica, não incluindo o segundo esporão que já pertence a outro sistema. A inclusão do primeiro esporão deve-se ao facto de ainda existirem áreas com duna. Este é um sistema modificado já que se encontra parcialmente artificializado por obras de proteção costeira (**Figura 30**). Em termos de área, totaliza 1,94 km², sendo a segunda área mais expressiva. A **figura 31** demonstra a localização deste sistema litoral, bem como dos restantes sistemas litorais.



Figura 30 – Sistema de praia-duna artificializada junto à Cova do Vapor. A ondulação na imagem está associada à influência da depressão *Félix* em Portugal (Data da imagem: 11 de março de 2018)

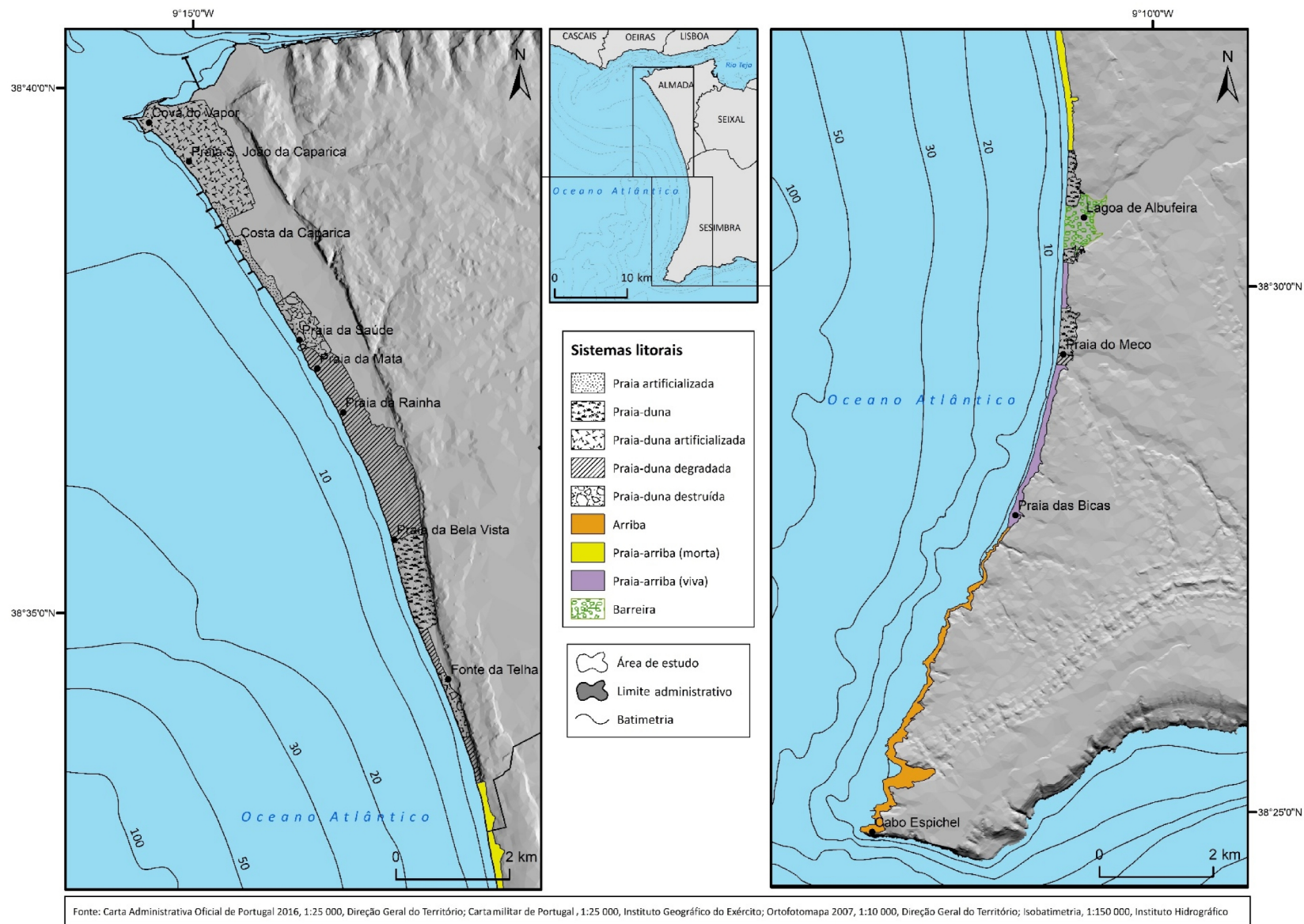


Figura 31 – Sistemas litorais no arco litoral Caparica-Espichel

II – Sistemas de praia artificializada – Foi unicamente identificado na Costa da Caparica. Inclui 6 dos 7 esporões que estão localizadas na frente de mar da Costa da Caparica. É também um sistema modificado devido à artificialização deste troço litoral. O limite interior da praia propriamente dita corresponde a uma obra longitudinal aderente. Estas estruturas têm um carácter inamovível, sendo, portanto, incompatíveis com um litoral intrinsecamente móvel. Este sistema possui uma extensão de 3 504 metros e, relativamente à área, possui 0,35 km², sendo o menor dos sistemas.

III – Sistema de praia-duna destruída – Este sistema possui dois grandes setores, a saber, um setor na Fonte da Telha e um outro entre a Costa da Caparica até uma fronteira definida entre a praia da Saúde e a praia da Mata. São áreas onde a duna encontra-se com um elevado grau de degradação, próximo da sua destruição, ou já destruídas. Existem áreas onde já não existe duna, sobretudo na praia da Saúde onde a forte pressão antrópica, materializada num grande parque de campismo de cerca de 0,34 km², tem promovido a sua destruição. É comparável à área do sistema de praia artificializada referido anteriormente que tem 0,35 km². A **figura 32** é ilustrativa dessa situação da destruição da duna na área da praia da Saúde. Já a Fonte da Telha possui também áreas em que a duna está muito degradada, em algumas áreas completamente destruída. As alterações antrópicas a este sistema conferem-lhe a designação de sistema modificado.



Figura 32 – Sistema de praia-duna destruída junto ao parque de campismo da praia da Saúde. (Data da imagem: 8 de junho de 2018)

IV – Sistemas de praia-duna degradada – Ao contrário do sistema anterior, as áreas de dunas encontram-se num estado de degradação menor. A presença antrópica resume-se a

trilhos de pisoteio e estradas de terra batida de acesso às praias. Existem 4 setores de praia-duna-degradada, sendo eles os seguintes:

- 1) Um troço costeiro na praia do Meco onde estão situados os apoios de praias e parques de estacionamento;
- 2) Dois troços costeiros, um a norte e outro a sul Fonte da Telha. Aqui verifica-se forte pressão antrópica que coloca em causa a capacidade de resiliência do campo dunar que se encontra fragmentado;
- 3) Um troço costeiro desde a praia da Bela Vista até ao sistema de praia-duna destruída a sul da cidade da Costa da Caparica.

Este sistema é o sistema dominante em termos de área, totalizando 2,39 km². É também o segundo sistema mais representativo em matéria de extensão de linha de costa, um total de 5 661 metros. É um sistema modificado.

V – Sistema de praia-duna – É considerado com sistema natural com muito pouca ou nenhuma manifestação antrópica, sendo, portanto, um sistema com muito bom estado de conservação. Tem uma extensão de linha de costa de 3 657 metros e uma área de 1,25 km², ficando como o terceiro sistema mais importante em termos de área. É composto por quatro setores, nomeadamente:

- 1) Uma área na praia do Meco de 805 metros de extensão de linha de costa;
- 2) Uma área imediatamente a sul da lagoa de Albufeira com 236 metros de linha de costa;
- 3) Na área imediatamente a norte da lagoa de Albufeira com 959 metros de linha de costa;
- 4) A norte da Fonte Telha até a praia da Bela Vista, num total de 1 657 metros. Esta área encontra-se muito bem conservado com grande extensão de duna verde.

VI – Sistema de barreira – Este sistema frontal tem uma extensão de linha de costa com 779 metros e uma área de 0,46 km². Existe um único setor que corresponde à área de barreira arenosa da lagoa de Albufeira. Para o interior desta barreira existe um sistema lagunar apartada do oceano pela barreira arenosa. É um sistema natural face à impossibilidade de construção de estruturas em cima da barreira arenosa, já que esta é sazonalmente aberta, não só por ação antrópica¹¹, mas também por ação dos temporais.

VII – Sistema de arriba – Existe um único setor e tem cerca de 8 049 metros, prolongando-se desde a praia das Bicas até ao cabo Espichel. Tem 0,83 km² de área e

¹¹ A abertura artificial não foi um fator para considerar este sistema modificado dados os critérios definidos no capítulo III. Além disso, estudos atestam a manutenção do equilíbrio sedimentar deste sistema (Andrade *et al.*, 2013).

corresponde a um sistema de arriba viva. É também um sistema natural porque não se verificam manifestações antrópicas na vertente da arriba.

VIII – Sistema de praia-arriba (viva) - Correspondem a áreas onde o mar ainda exerce o seu papel enquanto agente erosivo, ao contrário do sistema de praia-arriba (morta) que também está presente na área. O sistema de praia-arriba (viva) é um sistema natural, com uma extensão de linha de costa de 3 820 metros e com uma área aproximada de 0,42 km². Está confinado a sul da lagoa de Albufeira e é composta por dois setores únicos:

- 1) Entre a praia das Bicas e a praia do Mecó com cerca de 3 015 metros;
- 2) Entre o norte da praia do Mecó até ao setor de praia-duna a sul da lagoa de Albufeira com cerca de 805 metros.

IX – Sistema de praia-arriba (morta) – Este sistema existe sob a forma de um único setor, entre o sistema de praia-duna a norte da lagoa de Albufeira até ao setor de praia-duna degradada da Fonte da Telha. Possui vegetação na sua base. Essa vegetação ocorre em acumulações de areias eólicas em talude. É um sistema natural e tem uma área de 0,50 km² e com uma extensão de linha de costa de 4 061 metros.

De entre estes sistemas importa referir que é o sistema de arriba o que mais se destaca em termos de extensão de linha de costa, ao passo que o sistema de barreira é o menor sistema em extensão de linha de costa. Por outro lado, em termos da área de cada sistema

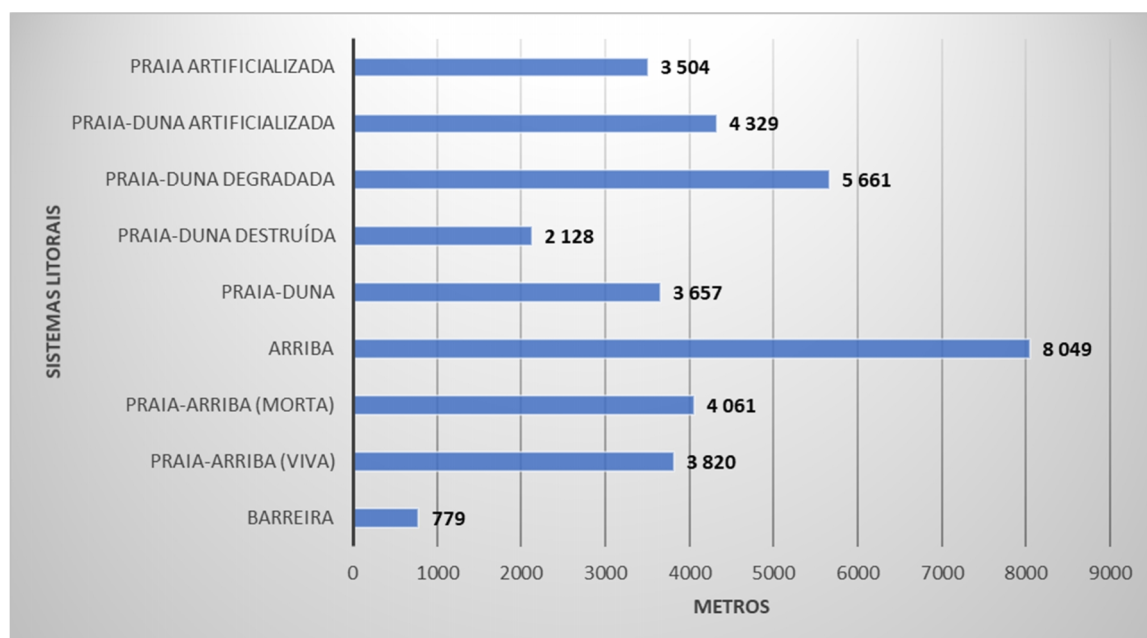


Figura 33 – Sistemas litorais por extensão da linha de costa – Arco litoral Caparica-Espichel

destaca-se a praia-duna degradada, ao passo que a praia artificializada é a área menos representativa. As **figuras 33 e 34** sintetizam os valores da extensão da linha de costa e da área

por sistema litoral. Considerando estas figuras é possível fazer um exercício comparativo a respeito dos sistemas modificados e sistemas naturais. A junção do sistema arriba, praia-arriba (viva), praia-arriba (morta), barreira e praia-duna configuram os sistemas naturais. Por contraste, os sistemas modificados são compostos pela praia-duna artificializada, praia-duna degradada, praia-duna destruída e praia artificializada. Sendo assim, os sistemas naturais totalizam 20 366 metros de extensão de linha de costa, correspondendo a 57% da extensão total. Já os sistemas modificados, totalizam 15 622 metros, totalizando 43% da extensão total.

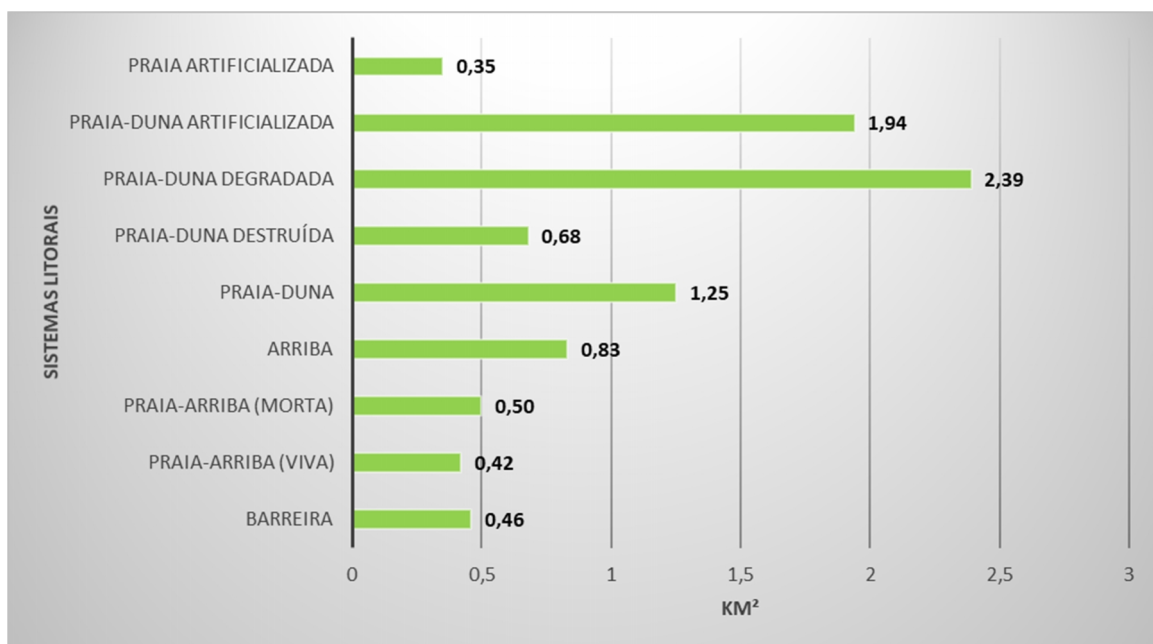


Figura 34 – Sistemas litorais por área – Arco litoral Caparica-Espichel

Em termos de área, os sistemas naturais perfazem um total de 3,46 km², um valor que corresponde a 39% da área de estudo. Em oposição, os sistemas modificados representam 5,36 km², o que representa 61% da área em investigação. Estas duas abordagens de “olhar” para os sistemas litorais demonstram realidades distintas entre sistemas litorais modificados e sistemas litorais naturais. Por um lado, maior extensão de linha de costa com sistemas naturais e, por outro, uma maior área de sistemas litorais modificados.

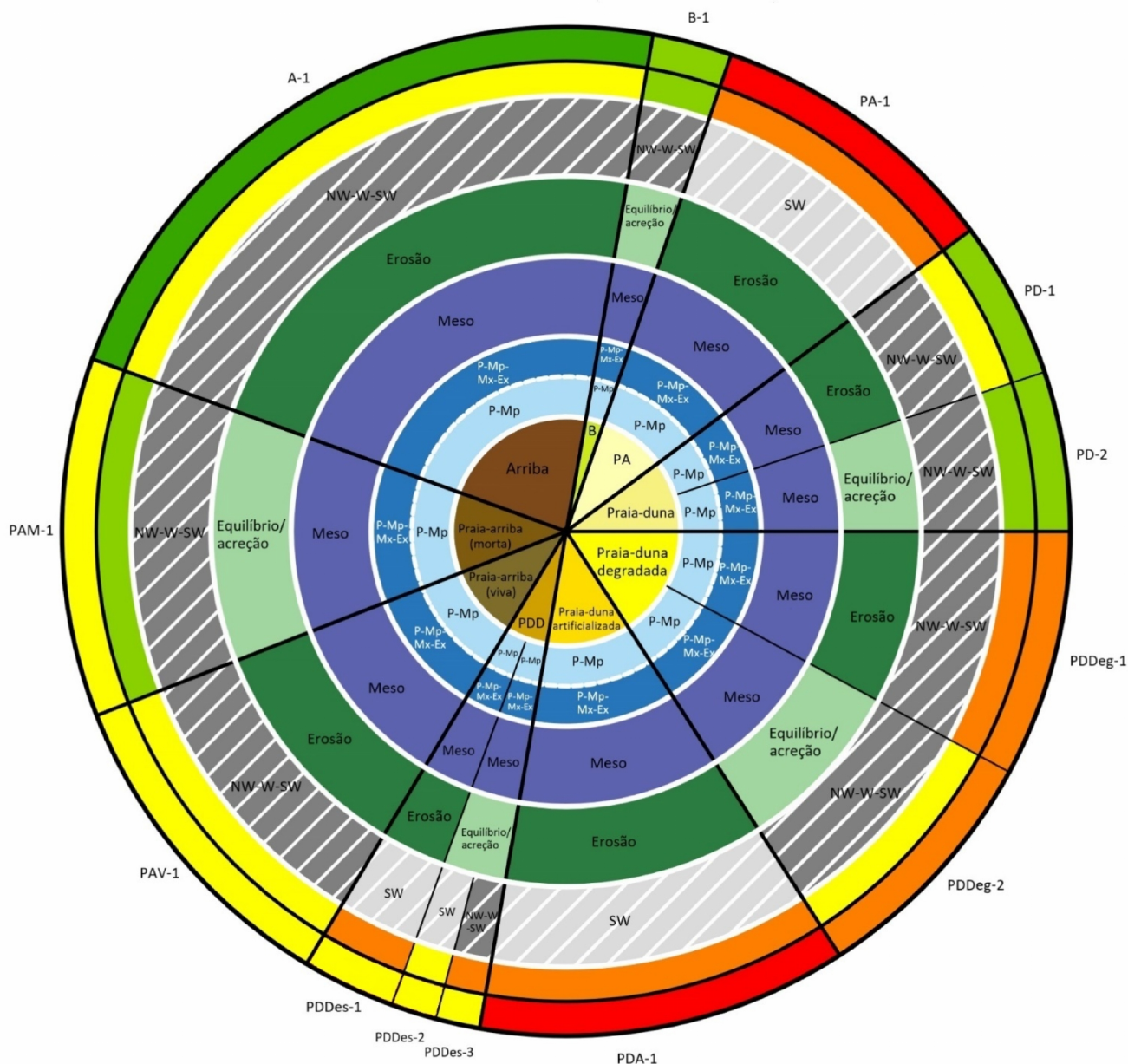
Os sistemas litorais distinguidos permitiram identificar e melhorar a cartografia de sistemas litorais no arco litoral Caparica-Espichel. É um contributo a este respeito já que as existentes muitas vezes são demasiado genéricas e não individualizam determinados sistemas litorais que são distintos. Esta cartografia pode levar a uma discussão dos limites interiores destes sistemas. Essa discussão é positiva e benéfica. O mapa de sistemas litorais no estudo de Jaranović, (2017), por exemplo, não distingue áreas de praia-arriba viva de áreas de praia-arriba morta, o que é importante já que existem diferenças acentuadas do papel erosivo do mar nestes

sistemas. Também é generalizada a classificação denominada “sistema arenoso”, englobando nesta categoria áreas de barreira e praia-duna nos seus diversos estados de conservação.

5.2 The Coastal Hazard Wheel_{mf} (CHW_{mf})

O sistema de classificação costeira *The coastal Hazard Wheel_{mf} (CHW_{mf})* é um novo de avaliação da perigosidade costeira. O cruzamento das variáveis utilizadas permitiu individualizar um total de 13 ambientes costeiros no arco litoral Caparica-Espichel, devidamente codificados na periferia da CHW_{mf} (**Figura 35**). A terminologia “ambiente costeiro” pode ser agora empregue de forma mais consistente e clara já que a combinação de todas as variáveis origina um ambiente costeiro específico. Assim sendo, os ambientes costeiros individualizados são os seguintes (**Figura 35 e 36**):

- I) A-1 – Ambiente costeiro de arriba, com um regime de meso-maré e com um balanço sedimentar que indica erosão. Está exposto aos temporais provenientes de oeste, noroeste e sudoeste, com uma média de 7 temporais por ano, sendo que esta média é comum aos 13 ambientes costeiros. Durante o inverno marítimo, está exposto a ondulação que pode atingir valores superiores a 6 metros de altura significativa. No verão, pontualmente atinge situações de litoral moderadamente protegido, embora predomine a situação de litoral protegido (H_s 12h/ano < 2 metros). A exposição à ondulação é igualmente comum a todos os 13 ambientes costeiros, isto é, todos os ambientes costeiros admitem a mesma exposição entre si. Salienta-se, no entanto, que para todos os ambientes costeiros a exposição à ondulação é maior no inverno marítimo. Em suma, a exposição é a mesma, depende é da estação do ano.
- II) PAV-1 – Ambiente costeiro de praia-arriba (viva), com um regime de meso-maré e com um balanço sedimentar que indica erosão. De resto, são troços de arribas onde o papel erosivo do mar ainda exerce a sua influência. Neste sentido são arribas de evolução rápida, talhadas em rochas brandas com recuo linear e paralelo. Este ambiente encontra-se exposto a temporais de oeste, noroeste e sudoeste.
- III) PAM-1 – Ambientes costeiro de praia-arriba (morta) que, diferentemente do anterior, a arriba está fora do alcance da ação erosiva do mar. É uma arriba composta por material detrítico (Taborda *et al.*, 2014). Tem um regime de meso-maré e com um balanço sedimentar que indica equilíbrio/acreção. Está exposto aos temporais provenientes de oeste, noroeste e sudoeste, com uma média de 7 temporais por ano.
- IV) B-1 – Ambiente costeiro de barreira, com regime de meso-maré e com um balanço sedimentar que remete para uma situação de equilíbrio/acreção. Encontra-se exposto aos temporais provenientes de oeste, noroeste e sudoeste, com uma média de 7 temporais por ano.



Classificação costeira da CHW_{mf} (do centro para a periferia do grafismo)			Nível de perigosidade				
Sistemas litorais			<div><div>NulaBaixaModeradaElevadaMuito elevada</div><div><div>12345</div><div>12345</div></div></div>				
Exposição às ondas	<div><div><div>Verão</div><div>Inverno marítimo</div></div><div><div>P - Protegida</div><div>Mp - Moderadamente protegida</div><div>Mx - Moderadamente exposto</div><div>Ex - Exposta</div></div></div>						
Amplitude de maré	<div><div>Meso-maré</div></div>						
Balanço sedimentar	<div><div>Equilíbrio/acreção</div><div>Erosão</div></div>		<div>Dentro dos anéis da perigosidade:</div> <div><div>- Anel mais periférico corresponde às avaliações da perigosidade a inundação;</div><div>- Anel mais interior corresponde à erosão costeira.</div></div>				
Exposição a temporais	<div><div><div>Temporais de SW</div><div>Temporais de NW, W e SW</div></div><div><div>7 temporais/ano</div></div></div>						
Notas: B - Barreira; PA - Praia artificializada; PDD - Praia-duna destruída.							

Figura 35 – The Coastal Hazard Wheel mf

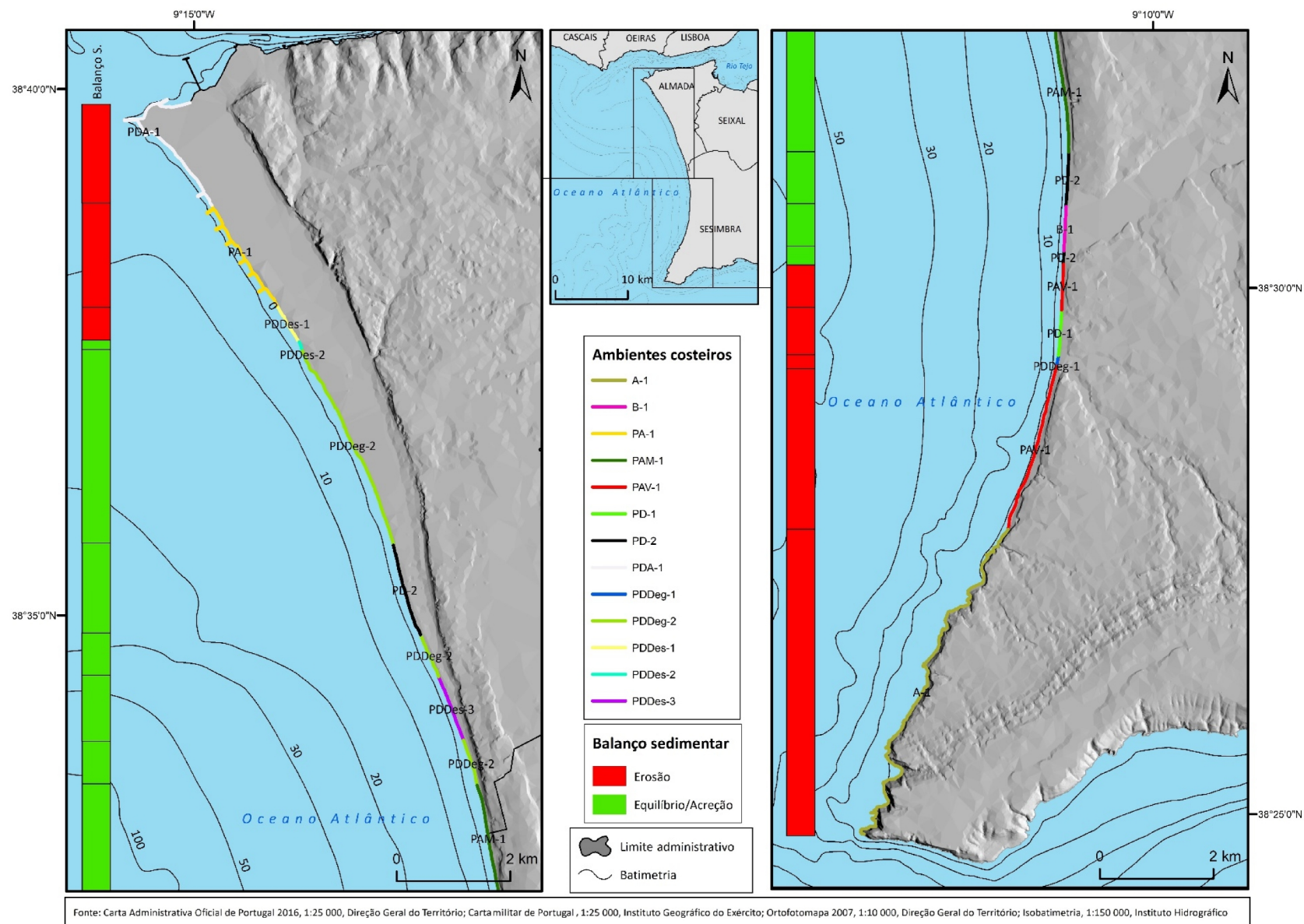


Figura 36 – Ambientes costeiros do arco litoral Caparica-Espichel devidamente codificados (A-1 – Ambiente costeiro de arriba 1; B-1 – Ambiente costeiro de barreira 1; PA-1 – Ambiente costeiro de praia artificializada 1; PAM-1 – Ambiente costeiro de praia-arriba morta 1; PAV-1 – Ambiente costeiro de praia-arriba viva 1; PD-1 e PD-2 – Ambientes costeiros de praia-duna 1 e 2; PDA-1 – Ambiente costeiro de praia-duna artificializada 1; PDDeg-1 e PDDeg-2 – Ambientes costeiros de praia-duna degradada 1 e 2; PDDes-1, PDDes-2 e PDDes-3 – Ambientes costeiros de praia-duna destruída 1, 2 e 3.

- V) PD-1 – Ambiente de praia-duna, com regime de meso-maré e com um balanço sedimentar erosivo. Este ambiente está exposto aos temporais de oeste, noroeste e sudoeste, com 7 temporais por ano.

- VI) PD-2 – Ambiente de praia-duna, com regime de meso-maré e com um balanço sedimentar em equilíbrio/acreção, sendo que é o balanço sedimentar que permite diferenciar este ambiente costeiro do descrito anteriormente. Este ambiente também está exposto aos temporais de oeste, noroeste e sudoeste, com uma frequência de 7 temporais por ano.

- VII) PDA-1 - Ambiente de praia-duna artificializada, com regime de meso-maré e com um balanço sedimentar erosivo. Este ambiente está exposto diretamente a temporais de sudoeste, encontrando-se mais abrigado dos temporais dominantes – os de noroeste (Sousa, 2015). Contudo, os temporais de sudoeste são os mais morfogenéticos.

- VIII) PDDeg-1 – Ambiente de praia-duna degradada, com regime de meso-maré com um balanço sedimentar erosivo. Este ambiente está exposto aos temporais de oeste, noroeste e sudoeste, com uma média de 7 temporais por ano.

- IX) PDDeg-2 – Ambiente de praia-duna degradada, com um regime de meso-maré e em equilíbrio/acreção. O balanço sedimentar é, de novo, a variável que permite diferenciar dois ambientes de praia-duna degradada. Acrescenta-se ainda que, à semelhança dos restantes ambientes costeiros, tem uma média de 7 temporais por ano. É afetado por temporais de oeste, sudoeste e noroeste.

- X) PDDes-1 – Ambiente de praia-duna destruída, com um regime de meso-maré e em situação de erosão. Está exposto diretamente a temporais de sudoeste, resultado da situação de abrigo proporcionada pela configuração da linha de costa na região de Lisboa. Tem uma média de 7 temporais por ano.

- XI) PDDes-2 - Ambiente de praia-duna destruída, com um regime de meso-maré e, no que toca ao balanço sedimentar, encontra-se em situação equilíbrio/acreção. Está exposto diretamente a temporais de sudoeste pelo mesmo motivo mencionado no ambiente costeiro anterior. A variável determinante na individualização deste ambiente costeiro face ao anterior é o balanço sedimentar.

- XII) PDDes-3 - Ambiente de praia-duna destruída, com um regime de meso-maré e em situação de equilíbrio/acreção. Encontra-se exposto às três direções, noroeste, oeste e sudoeste, com uma média de 7 temporais por ano. Este ambiente costeiro difere do ambiente PDDes-1 no balanço sedimentar e na exposição a temporais. Em relação ao ambiente costeiro PDDes-2, a diferença está na variável exposição a temporais, uma vez que possuem o mesmo balanço sedimentar.

- XIII) PA-1 – Ambiente de praia artificializada, em regime de meso-maré e em situação de erosão. Tem uma média de 7 temporais por ano e está exposto diretamente a temporais de sudoeste devido ao papel do cabo raso que funciona como abrigo natural aos temporais de noroeste.

Além desta descrição dos ambientes costeiros, importa tecer algumas considerações a respeito da informação que a CHW_{mf} é capaz de fornecer. Primeiramente, em termos de balanço sedimentar, os 13 ambientes costeiros encontram-se numa linha de costa que está 60% em erosão e 40% equilíbrio/acreção. O total de linha de costa afetada diretamente apenas por temporais de sudoeste é de 24%, contrastando com os 76% de linha de costa que é atingida pelas três direções (NW, W e SW).

A linha de costa associada a ambientes costeiros com duna é de 15 775 metros, o que representa cerca de 44% da linha de costa. Do total da linha de costa com duna, cerca de 77% está associada a ambientes costeiros degradados, destruídos ou artificializados (PDA-1, PDDeg-1, PDDeg-2, PDDeg-3, PDDes-1, PDDes-2, PDDes-3). Por contraste, dos 15 775 metros, apenas 23% está associada a ambientes costeiros de duna no seu melhor estado de conservação (corresponde aos ambientes costeiros PD-1 e PD-2). O peso dos ambientes costeiros associada a ecossistemas de duna é significativo, sendo mais expressivo o valor associado ao seu mau estado de conservação. De entre os diversos fatores, o mau estado de conservação das dunas está associado a fatores antropogénicos e pode contribuir para o incremento da erosão costeira, sobretudo em contexto de subida do nível do mar. A destruição das dunas levará a desregulações nas trocas transversais de sedimentos, e consequentemente à destruição da praia. A destruição da duna abre espaço à erosão costeira porque desaparece o neutralizador e amortecedor dessa erosão. As praias da Costa da Caparica, que se encontram completamente sem duna e artificializadas, são praias com pouca largura sobretudo as praias junto aos esporões mais setentrionais.

Ainda a respeito dos ambientes costeiros com duna, o ambiente PD-2 é um caso interessante, já que a configuração da linha de costa apresenta uma ligeira saliência em relação ao mar, que desaparece a norte e a sul no encontro com o ambiente costeiro de praia duna degradada (PDDeg-2). No ambiente PD-2, classificada no balanço sedimentar com equilíbrio/acreção, são verificados esforços no sentido do reforço da consolidação do cordão dunar¹².

Outra análise interessante é que 22% da linha de costa do arco litoral Caparica-Espichel está artificializada. Uma situação mais preocupante é que todos os ambientes costeiros que se encontram artificializados, se encontram em erosão, ou seja, 100% da linha de costa artificializada apresenta um balanço sedimentar erosivo. Estes ambientes costeiros, resumem-se à PA-1 e PDA-1 situados entre a Cova do Vapor e a Costa da Caparica. Esta situação erosiva já identificada por diversos autores, tem sido justificada pela ação antrópica

¹² Ver figura 41, ponto 5.6.

(dragagens) a partir de meados do século XX, sem esquecer a elevação do nível do mar de 1,9 mm/ano, embora esta elevação não tenha tido efeito pelo menos até 1940 (Santos *et al.*, 2014). A artificialização destes ambientes também não permitiu a troca transversal de sedimentos entre a duna e praia, inutilizando o natural amortecedor à ação erosiva – as dunas.

5.3 Avaliação da perigosidade à erosão costeira

O mapa de perigosidade a erosão costeira demonstra dinâmicas diferentes ao longo do arco litoral. A **figura 37** demonstra que nenhuma área evidencia perigosidade nula à erosão costeira. Demonstra também que a classe de maior perigosidade que se verifica é a classe elevada, não existindo áreas em situação de perigosidade muito elevada. Neste sentido, os ambientes costeiros que têm perigosidade elevada à erosão costeira são ambientes que estão associados a sistemas litorais modificados, fortemente antropizados e alguns deles artificializados. Os ambientes costeiros PDA-1, PA-1, PDDes-1, PDDes-3 e PDDeg-1 são os únicos com a perigosidade elevada. Estes ambientes costeiros correspondem essencialmente às áreas da Costa da Caparica, São João da Caparica, Cova do Vapor, Fonte da Telha e praia do Meco. São também ambientes costeiros que apresentam um balanço sedimentar erosivo (com exceção ao ambiente costeiro PDDes-3 que está em situação contrária), o que é de salientar já que o balanço sedimentar deficitário tem um papel basilar no processo da erosão costeira, devendo, portanto, ser tido em conta nas estratégias de gestão, intervenção e mitigação do processo erosivo (Santos *et al.*, 2014). O declive fraco, na transição entre a ante-praia e a praia propriamente dita, na praia propriamente dita e na faixa de espraio é também uma característica marcante destes ambientes costeiros, não levando em consideração outras variáveis importantes na morfologia da praia como a dimensão dos sedimentos, por exemplo.

Os ambientes costeiros que têm probabilidade de ocorrência de erosão costeira baixa são PD-2, B-1 e PAM-1. Estão associados a sistemas litorais naturais e em situação de equilíbrio/acreção. São também sistemas onde foram verificados declives significativos da praia. Este fator é importante já que territórios planos adjacentes à linha de costa permitem uma evolução mais rápida da mesma, em comparação com áreas de maior declive (Coelho, 2005). Já o caso do ambiente PAM-1 é interessante já que o facto de ser um ambiente com arriba morta, permite uma manutenção do declive entre a ante-praia e a praia propriamente dita. A evolução é mais lenta já que o principal agente erosivo já não influencia a base da arriba.

Os ambientes costeiros com probabilidade de ocorrência moderada a erosão costeira são os ambientes PD-1, A-1, PDDes-2, PAV-1 e PDDeg-2. Estes ambientes têm algumas características que foram consideradas (declive, orientação de temporais, natureza do sistema

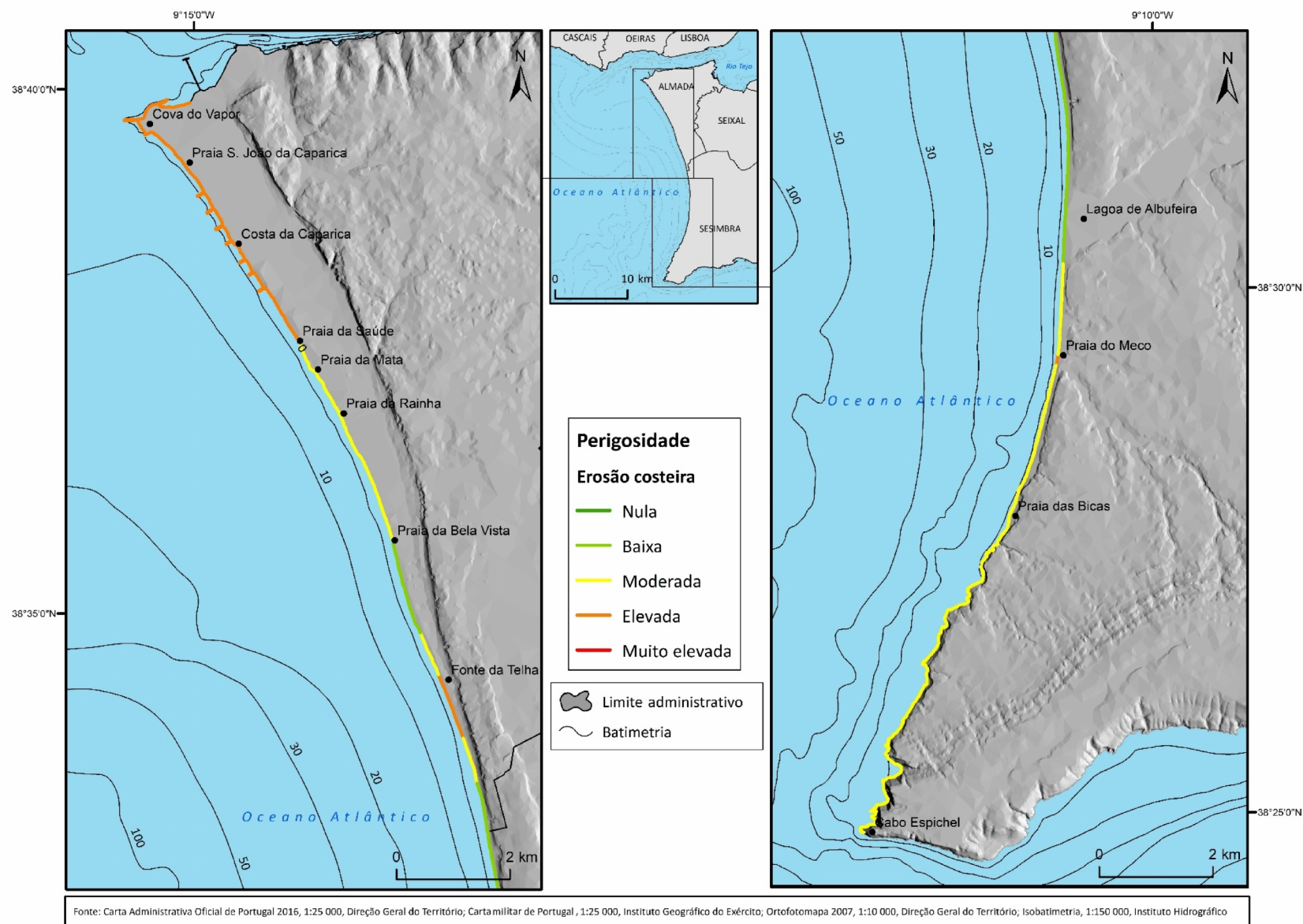


Figura 37 – Perigosidade à erosão costeira no arco litoral Caparica-Espichel (linha de costa)

e balanço sedimentar) e que não lhes permite uma classificação de perigosidade elevada ou baixa. Os ambientes PD-1, A-1, PAV-1 não estando associados a sistemas litorais modificados, estão condicionados pelo balanço sedimentar erosivo e por estarem expostos a três direções de temporais. Já o ambiente costeiro PDDeg-2 apresenta uma probabilidade de ocorrência de erosão costeira moderada devido à sua natureza modificada e ao facto de se encontrar exposto a três direções de temporais, já que as medições efetuadas demonstram áreas declivosas na transição entre a ante-praia e a praia propriamente dita, e na faixa de ressaca.

Ainda em relação a esta avaliação de perigosidade, é possível inferir que a maior parte da linha de costa está em situação de perigosidade moderada, cerca de 51%. Com a segunda maior representatividade segue-se a perigosidade elevada com 28%, o que também demonstra que 79% da linha de costa apresenta perigosidade à erosão costeira acima do nível moderado, isto sem considerar a classe muito elevada que não tem qualquer expressão nos ambientes costeiros estudados. É de acrescentar ainda que apenas 21% da linha de costa tem probabilidade de ocorrência de erosão costeira baixa (**Quadro 12**).

Quadro 12 – Valores percentuais associados a cada classe de perigosidade (erosão costeira)

Perigosidade associada a erosão costeira (linha de costa)	%	Ambientes costeiros
Nula	0	-
Baixa	21	B-1; PAM-1; PD-2;
Moderada	51	PD-1; PAV-1; PDDes-2; PDDeg-2; A-1;
Elevada	28	PA-1; PDA-1; PDDes-1; PDDes-3; PDDeg-1;
Muito elevada	0	-

5.4 Avaliação da perigosidade a inundações associada a temporais

A avaliação da perigosidade a inundações associada a temporais permite observar, de forma célere, duas dinâmicas diferentes ao longo do arco litoral Caparica-Espichel (**Figura 38**). Por um lado, o setor norte do arco onde predominam a perigosidade elevada e a perigosidade muito elevada e que corresponde essencialmente ao litoral do município de Almada. Por contraste, o setor sul do arco litoral (município de Sesimbra) verifica-se de forma predominante a perigosidade baixa e moderada, destacando-se também cerca de 8 km de linha de costa com perigosidade nula associada ao ambiente A-1.

Os ambientes costeiros PDA-1, PA-1 e PDDes-3 são os únicos com probabilidade de ocorrência de inundações por temporais muito elevada. São ambientes modificados (artificializados ou destruídos) em que o declive fraco e a baixa largura das praias são decisivos, sobretudo no caso do ambiente PA-1, onde a duna é inexistente.

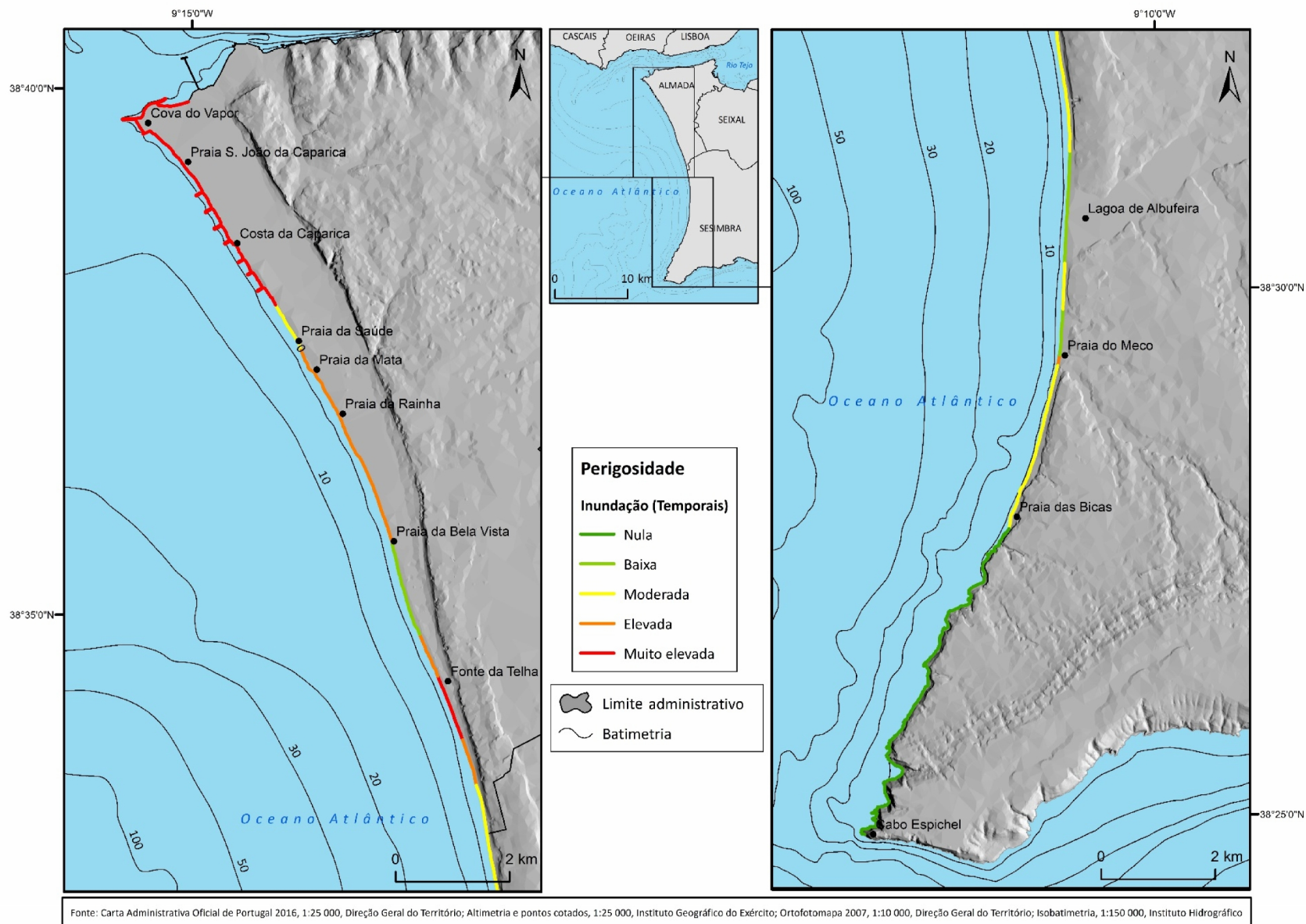


Figura 38 – Perigosidade a inundação por temporais no arco litoral Caparica-Espichel (linha de costa)

É também interessante o histórico de ocorrências apresentado em Jaranović (2017) que ajuda a compreender os valores de perigosidade de PA-1, PDA-1 e PDDes-3. Este histórico demonstra que entre 2000 e 2015 ocorreram cerca de 41 ocorrências provocadas por temporais no litoral da Costa da Caparica, sendo que algumas dessas ocorrências estiveram relacionadas com galgamento de paredões e dunas, bem como inundações. São recorrentes as notícias de galgamento, durante o inverno marítimo na Costa da Caparica, sendo que existem trabalhos que têm documentado essas situações. O estudo de Santos *et al.* (2014) cita várias consequências após a passagem da tempestade *Hércules* em 2014 entre a Cova do Vapor e a Costa da Caparica. É referido o galgamento de diques na zona urbana da Costa da Caparica, danos em São João da Caparica nas dunas e danos na Cova do Vapor. No caso do ambiente costeiro PDDes-3 (Fonte da Telha), a exposição de forma mais direta às três direções de temporais é um fator importante, ao que se acrescenta a natureza do sistema litoral (destruído), praias pouco largas e declive fraco. De forma a complementar esta visão de perigosidade, os dados de *Hs* para a Fonte da Telha e Costa da Caparica revelam que o número médio de temporais para o período 2007-2017 é de 7 temporais, sendo que a duração média foi de 1,6 dias. Esta série de dados identificou durações máximas de 6 dias e valores de *Hs* máxima de 11 metros.

A probabilidade de ocorrência elevada a inundações provocadas por temporais está representada nos ambientes costeiros PDDeg-1 e PDDeg-2. Estes ambientes costeiros encontram-se modificados e estão expostos diretamente a três direções de temporais. As praias pouco largas nestes ambientes costeiros é também um fator a salientar. O declive registado nestes ambientes costeiro não foi suficiente para contribuir para o valor de perigosidade.

A perigosidade moderada ocorre nos ambientes costeiros PDDes-1 e PDDes-2. Não estando expostos diretamente às três direções de temporais, são sistemas modificados e de fraco declive. Apresentam praias com uma largura significativa (> 100 metros) devido à ausência de duna. Além destes ambientes costeiros, existem outros dois ambientes costeiros com perigosidade moderada – PAM-1 e PAV-1. Esta classificação deve-se ao facto de estes ambientes estarem diretamente expostos a temporais de oeste, noroeste e sudoeste e apresentarem praias com baixa largura (com cerca de 70 metros de largura). Não apresentam declives fracos e a eles estão inerentes sistemas litorais naturais sem manifestações de degradação, artificialização ou destruição. O declive verificado nestes dois ambientes costeiros é bastante relevante já que o mesmo tem implicações na frequência das inundações (Earlie *et al.*, 2018).

Os ambientes costeiros com perigosidade nula e baixa resumem-se a ambientes relacionados com sistemas litorais naturais. São os ambientes B-1, PD-1, PD-2 e A-1, este último classificado com perigosidade nula já que corresponde a um sistema de arriba viva que atinge altitude de cerca de 130 metros. O único fator que contribui para uma probabilidade de ocorrência baixa nestes ambientes costeiros é a exposição direta a temporais de oeste, noroeste e sudoeste.

Em termos quantitativos, esta avaliação de perigosidade revela que 22% da linha de costa apresenta uma perigosidade nula. Cerca de 12% da linha de costa apresenta uma probabilidade de ocorrência de inundação baixa, sendo que 25% da linha de costa apresenta uma probabilidade de ocorrência moderada. A perigosidade elevada representa 16% da linha de costa e, por fim, a classe de perigosidade muito elevada é representativa de 25% da linha de costa do arco litoral Caparica-Espichel. A junção das classes de maior perigosidade, isto é, a classe elevada e muito elevada totaliza 41% dos cerca de 35 km de linha de costa ocidental da península de Setúbal (**Quadro 13**).

Quadro 13 – Valores percentuais associados a cada classe de perigosidade (inundação associada a temporais)

Perigosidade a inundação associada a temporais (linha de costa)	%	Ambientes costeiros
Nula	22	A-1;
Baixa	12	B-1; PD-1; PD-2;
Moderada	25	PDDes-1; PDDes-2; PAM-1; PAV-1;
Elevada	16	PDDeg-1; PDDeg-2;
Muito elevada	25	PA-1; PDA-1; PDDes-3;

A distribuição espacial do índice de perigosidade costeira entre a Cova do Vapor e o Cabo Espichel (**Figura 39**) apresentado por Jaranović (2017) apresenta semelhanças com o mapa de perigosidade apresentada na presente dissertação. Ambas os mapas apresentam, de forma geral, maiores valores de perigosidade nas áreas com forte presença humana, sobretudo na Costa da Caparica e Fonte da Telha. Existem semelhanças nas áreas de arriba e barreira e em alguns setores de praia-arriba, bem como na praia do Meco. As principais diferenças encontram-se na Cova do Vapor e em alguns setores de praia-duna e praia-duna degradada.

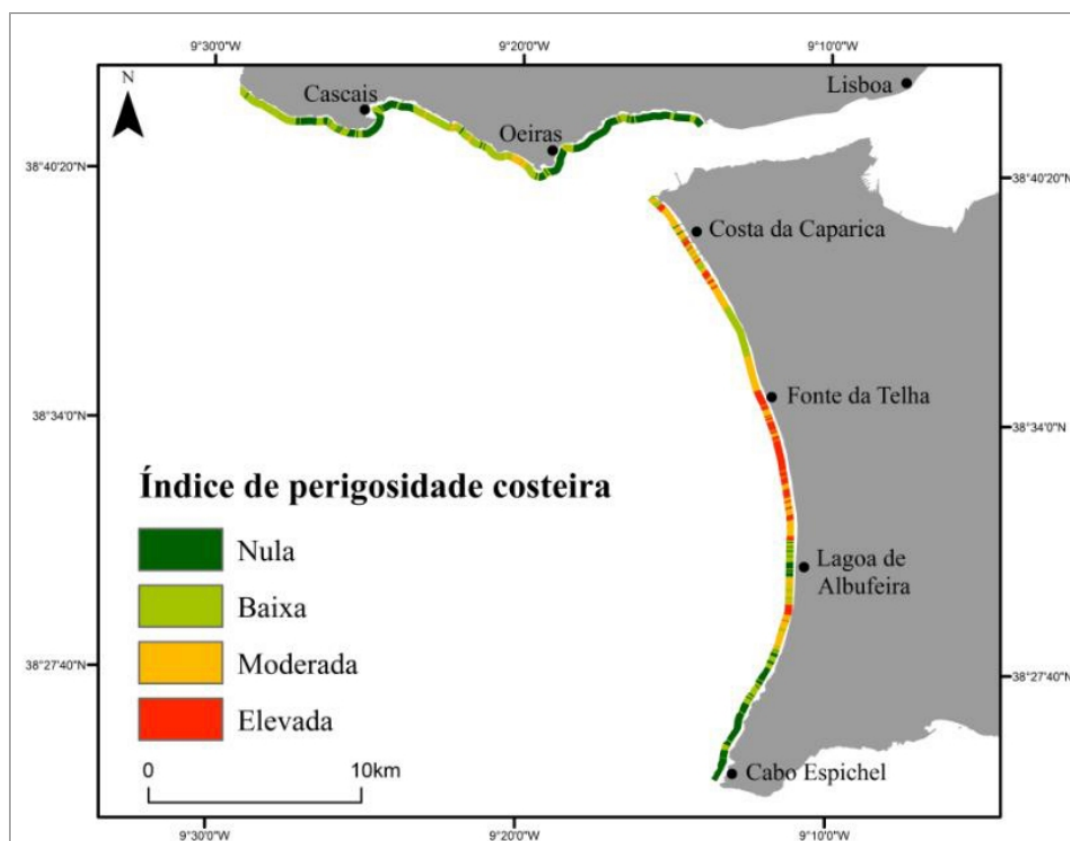


Figura 39 – Índice de perigosidade costeira entre o Cabo Raso e o Cabo Espichel (Jaranović, 2017)

5.5 Vantagens, limitações e incertezas

A principal vantagem da CHW_{mf} é conferir aos decisores do território uma visão genérica e inicial dos ambientes costeiros de uma determinada da área em estudo e respetivo perfil de perigosidade, através de um sistema de primeira linha, sobretudo para países com menor disponibilidade de dados. Pretende que o leitor faça uma associação célere entre um determinado ambiente costeiro e o seu perfil de perigosidade, de forma a obter uma ideia inicial. Porém, o carácter genérico desta metodologia pode ser encarado com uma limitação. No entanto, é recomendado a aplicação de outras metodologias de avaliação mais detalhadas para complementar a informação que a CHW_{mf} fornece, como é o caso da investigação de Jaranović (2017). Este trabalho fê-lo de forma bem conseguida através de um índice de perigosidade costeira com um conjunto de 12 variáveis condicionantes, o que por si só já denota a variedade de variáveis possíveis para estudos de perigosidade costeira. A monitorização através de levantamentos topográficos, perfis de praia e levantamentos hidrográficos, também são elementos que permitem melhorar e complementar as avaliações iniciais.

As incertezas associadas a este estudo estão em muito relacionadas com a disponibilidade de dados e com o detalhe dos dados. Era importante que o processo de delimitação e interpretação dos sistemas litorais que compõem o centro da CHW_{mf} , tivesse

sido realizada com um ortofotomapa mais recente possível. O ortofotomapa utilizado tem um desfasamento temporal de cerca de 10 anos face à data deste estudo. Não sendo uma situação grave, seria mais interessante a utilização de imagens mais recentes. Uma forma interessante de ultrapassar esta situação seria obter imagens do território o mais recentes possíveis, através da utilização de técnicas de recolha de dados como os VANT. É essa a orientação da *CHW 3.0*, que recomenda a utilização de dados provenientes de deteção remota, como imagens de satélite ou VANT, já que permitem obter imagens recentes do território.

A qualidade dos dados relativos à *Hs* da onda, bem como a direção da onda é também um fator menos positivo. Os dados provenientes do *Windguru* revelaram não ser a melhor opção para aplicação à escala local. Embora a questão da direção da onda tenha sido ultrapassada com o recurso a interpretação das imagens provenientes da modelação do IPMA, seria mais consistente ter dados corretos da *Hs* da onda bem como da direção da onda.

O facto deste estudo ter sido realizado à escala local, assente em um *hotspot* de perigo costeiro que é o arco litoral Caparica-Espichel, fez com que a *CHW_{mf}* não tivesse a variedade da *CHW 3.0*. Talvez possa, à primeira vista ser entendido com uma limitação, mas esta situação é normal. A escala local é indubitavelmente diferente da escala regional e global. Esta situação acaba por conduzir a que variáveis como a amplitude da maré sejam iguais para todos os ambientes costeiros da área de estudo. Ainda assim, com menos uma variável que a metodologia original (fauna e flora), foi possível identificar um total de 13 ambientes costeiros. Este é o único trabalho de aplicação de uma metodologia desta natureza à escala local, até à data. Para além da escala de análise ser uma limitação, a temporalidade desta metodologia é também uma limitação, já que esta metodologia apresenta os sistemas e condições físicas atuais.

As medições de declive e largura da praia, da forma como foram efetuadas, são suficientes para o nível de generalização desta metodologia. Contudo, estes indicadores da morfologia das praias poderiam ser facilmente melhorados recorrendo a quantificações exatas e precisas que poderiam ser fornecidas através da utilização de um dGPS ou levantamentos com recurso a veículo autónomo não tripulado. No seguimento destas variáveis, seria interessante a inclusão de outras, designadamente a dimensão dos sedimentos já que esta variável influencia fortemente os processos de erosão (Finkl, 2004; Ramos-Pereira, 2008). A largura das praias (tendencialmente sujeita a variações no tempo) acaba por limitar o carácter intemporal da *CHW_{mf}*, contribuindo para a sua limitação no tempo.

O balanço sedimentar também acarreta em si alguma incerteza. Esta classificação que a *CHW_{mf}* apresenta para o balanço sedimentar foi, como referido no capítulo III, realizado com base no relatório do Grupo de Trabalho do Litoral. Este relatório assume diversos problemas,

desde lacunas de informação, desfasamentos temporais e informação dispersa. Foi muitas vezes necessário recorrer a uma “articulação das referências disponíveis com o conhecimento científico e empírico do sistema costeiro” (Santos *et al.*, 2014:8). A presente dissertação também por vezes seguiu o caminho do conhecimento científico empírico do sistema costeiro, tendo sido a forma de ultrapassar algumas das incertezas que surgiram. Ocorreram no balanço sedimentar, sendo estas as principais registadas:

- I) Na fronteira entre a erosão e a situação de equilíbrio/acreção junto à praia da Saúde;
- II) Na fronteira entre a situação de equilíbrio/acreção e a situação de erosão a sul da lagoa de Albufeira.

É de salientar ainda as incertezas quanto à fronteira que divide as áreas abrigadas dos temporais de noroeste, e as áreas expostas a temporais de noroeste. Em suma, algumas das incertezas supracitadas levam a que CHW_{mf} esteja limitada no tempo.

5.6 A CHW_{mf} enquanto orientador da gestão e ordenamento do território

Os resultados já apresentados não podem dissociar-se da questão da gestão e ordenamento do território. Neste sentido, e à semelhança do que é apresentado na metodologia da *CHW 3.0*, a ocupação do solo é uma variável a considerar em matéria de ordenamento do território. Assim sendo, o **quadro 14** faz essa ponte entre os 13 ambientes costeiros que a CHW_{mf} individualiza na área de estudo e o uso/ocupação do solo da mesma¹³. É notório que os dois ambientes costeiros de praia-duna e os ambientes de arriba, praia-arriba (morta), praia-arriba (viva) e barreira são classificados, segundo a classificação do projeto europeu LUCAS, como áreas “sem uso”. Esta classificação “sem uso” representa 46% dos ambientes costeiros individualizados na CHW_{mf} , todos eles classificados anteriormente como parte de sistemas litorais naturais. Em contraste, 54% dos ambientes costeiros têm a eles associado código de ocupação/uso do solo que apontam para presença antrópica. Esses ambientes costeiros estão inseridos em sistemas naturais modificados. Referem-se o ambiente costeiro PA-1 (Praia artificializada 1) que tem como ocupação/usos elementos relacionados com “recreação, lazer e desporto” (U360), “construções” (U330) e estruturas associadas à atividade piscatória (U130). Estes elementos resumem-se a construções de apoio às atividades desenvolvidas na época balnear na frente de mar da cidade da Costa da Caparica, mas também construções de defesa costeira. A área residencial da Costa da Caparica não está incluída neste ambiente costeiro, mas é relevante no quadro do ordenamento do território uma vez que os

¹³ As designações de cada código de ocupação do solo e o seu significado encontram-se no capítulo III, nomeadamente o **quadro 2**, aquando da apresentação da metodologia da *CHW 3.0*.

processos hidrodinâmicos que atuam na praia artificializada podem ter impactos a longo prazo nas populações da Costa da Caparica, embora já se verifiquem episódios de galgamento na frente mar da Costa da Caparica. O ambiente costeiro de praia-duna artificializada (PDA-1), localizada a norte da praia artificializada, encontra-se ocupada por “construções” (U330), elementos ligados à “recreação, lazer e desporto” (U360) e áreas “residenciais” (U370). Aqui, destacam-se construções de defesa costeira, edifícios residenciais da Cova do Vapor, parques de campismo, estacionamento e apoios de praia.

Quadro 14 – Ocupação/uso do solo dos 13 ambientes costeiros

Sistemas litorais	Códigos dos 13 ambientes costeiros	Códigos de ocupação e uso do solo do projeto LUCAS	Estado
Praia artificializada	PA-1	U130; U330; U360;	modificado
Praia-duna	PD-1	U400;	natural
	PD-2	U400;	natural
Praia-duna artificializada	PDA-1	U330; U360; U370;	modificado
Praia-duna degradada	PDDeg-1	U330; U360;	modificado
	PDDeg-2	U330; U360;	modificado
Praia-duna destruída	PDDes-1	U330; U360;	modificado
	PDDes-2	U330; U360;	modificado
	PDDes-3	U130; U330; U370;	modificado
Arriba	A-1	U400;	natural
Praia-arriba (morta)	PAM-1	U400;	natural
Praia-arriba (viva)	PAV-1	U400;	natural
Barreira	B-1	U400;	natural

Os ambientes costeiros associados à praia-duna degradada também têm a presença de atividades relacionadas com “recreação, lazer e desporto” (U360) e “construções” (U330). No caso do ambiente costeiro PDDeg-1 (setor na praia do Meco) verifica-se a existência de apoios de praia, restauração e estacionamento de veículos, tudo relacionado com a atividade banhar. Já no que diz respeito ao ambiente costeiro PDDeg-2, existem apoios de praia, restauração e estacionamentos de veículos de forma mais persistente e intensiva do que no ambiente costeiro PDDeg-1.

Os ambientes costeiros PDDes-1 e PDDes-2 correspondem a ambientes com forte pressão antrópica essencialmente ocupados por elementos ligados à “recreação, lazer e desporto” (U360) e “construções” (U330). A área encontra-se ocupada por extensos parques de campismo e respetivos estacionamento. O caso do ambiente costeiro PDDes-3 (**Figura 40**) é dissemelhante a estes. Este ambiente encontra-se ocupado por “construções” (U330) relacionadas com áreas residenciais (U370), desde casas a estacionamento assentes em área dunar que, em alguns setores se encontra destruída, e em outros fragmentada. É possível observar também elementos relacionados com a atividade piscatória (U130). As características



Figura 40 – Ambiente costeiro PDDes-3: U130; U330; U370; Notar a grande fragmentação do campo dunar, evidenciando áreas com completo desaparecimento da duna (Data da imagem: 11 de março de 2018)

de uso e ocupação do solo referidas neste ponto, apontam para três áreas que se destacam em matéria de densidade populacional. Os ambientes costeiros PDA-1, PA-1 (na planície litoral) e PDDes-3 são áreas fortemente urbanizadas e apresentam persistente presença humana, correspondendo à Cova do Vapor, Costa da Caparica e Fonte da Telha. Neste sentido, a relação estabelecida entre o uso e ocupação do solo com os ambientes costeiros permite obter uma visão imediata das características do território, sobretudo do ponto de vista humano. O uso combinado destes códigos de forma padronizada constitui a ponte entre o espaço físico e seus processos com as dinâmicas humanas, podendo ser um bom contributo para a gestão e ordenamento do território.

A gestão dos problemas do arco litoral Caparica-Espichel tem sido já uma forma de resposta aos mesmos. Como referido neste capítulo, existem ambientes costeiros (PA-1, PDA-1) que se encontram artificializados e em erosão. A artificialização do litoral é de facto uma resposta que foi implementada face ao acentuado recuo da linha de costa nas últimas

décadas. Deve, contudo, ser uma das últimas opções de gestão costeira a adotar já que tem repercussões ambientais elevadas (Ramos-Pereira, 2004). A alimentação artificial também tem sido implementada enquanto opção de gestão costeira. Em 2007, 2008, 2009, 2014, por exemplo, foram realizadas alimentações artificiais na praia emersa entre a Cova do Vapor e a Costa da Caparica, sendo que a monitorização realizada pelo Grupo de Trabalho do Litoral reconhece efeitos positivos desta opção de gestão, mas também admite que o grau de sucesso, longevidade e comportamento são de difícil previsão (Santos *et al.*, 2014). A alimentação artificial de praias, no futuro contexto de alterações climáticas, não resolve o problema. Embora seja uma medida que possa entrar em conflito com a opinião pública, o abandono destes espaços com vista à regeneração dos sistemas litorais, em particular das dunas, deve ser a primeira opção a tomar, sobretudo em áreas de génese ilegal como é o caso da Cova do Vapor e a Fonte da Telha, até porque estas áreas estão vulneráveis aos fenómenos hidrodinâmicos extremos decorrentes das alterações climáticas. O Programa da Orla Costeira (POC) Alcobaça-Espichel sugere mesmo a realocização de áreas enquanto resposta às alterações climáticas, como a Fonte da Telha, Cova do Vapor e os parques de Campismo a sul da Costa da Caparica (POC, 2017), correspondendo essencialmente aos ambientes costeiros PDA-1, PDD-1, PDD-2 e PDD-3. De entre os três cenários de resposta equacionados pelo POC para estas áreas, a análise benefício/custo permitiu concluir que o cenário mais favorável será proceder a uma retirada planeada. Esta deveria ser a primeira opção do quadro de um ordenamento do território, sobretudo perante o atual contexto de subida do nível do mar, no quadro das alterações climáticas.

Para além das medidas de proteção supracitadas, têm sido também tomadas outras medidas de gestão costeira ao longo do arco litoral Caparica-Espichel, designadamente esforços na proteção e reabilitação das dunas. Essas medidas foram aplicadas no ambiente costeiro PD-2 através de armadilhas de areias para a fixação do cordão dunar, designadamente paliçadas, intervenção bem sucedida (**Figura 41**). No ambiente costeiro PDA-1, não foram só tomadas medidas de proteção pesada. Já existiram tentativas entre 2015 e 2016 de estimular a resiliência do campo dunar da praia de São João da Caparica através da plantação de espécies na duna branca e duna cinzenta. No âmbito do projeto ReDuna, foi plantada essencialmente *Ammophila arenaria* (Rato, 2017), uma espécie bastante relevante na construção e constituição de cordões dunares. Para além disso, foram instaladas paliçadas. O Plano Pormenor para a Fonte da Telha de 2015 também previa a criação de armadilhas de areias através da plantação de espécies autóctones, referindo a intenção de delimitar a “área de interdição do atravessamento pedonal e rodoviário na praia alta e dunas” (Câmara Municipal de Almada, 2015:31).



Figura 41 – Ambiente costeiro PD-2: U400 - sul da praia da Bela Vista. Notar a extensão de duna cinzenta e verde e a opção de gestão tomada (Data da imagem: 8 de junho de 2018)

Esta dissertação apresentou a modificação de uma metodologia, sendo que ambas se propõem ser ferramentas de apoio à gestão do espaço costeiro, embora a escalas diferentes. Todavia, o princípio é o mesmo: ambas pretendem ser uma ferramenta completa, um todo em um que, através de uma linguagem padronizada. Dos sete objetivos inicialmente identificados na dissertação, os dois últimos mencionados não foram possíveis cumprir com este processo de adaptação.

Neste sentido, as modificações efetuadas para aplicação a uma escala local permitiram obter, numa fase intermédia do processo, um mapa de sistemas litorais para a área de estudo. Este elemento revela um destaque para sistemas litorais associados a duna em diversos estados de conservação, desde áreas em muito bom estado de conservação a áreas completamente destruídas. O grau de degradação está relacionado sobretudo com a dinâmica antrópica e isso é evidente nos dados utilizados para a construção deste mapa que demonstram áreas de duna com forte ocupação urbana e, em alguns casos, com proteção pesada.

A *CHW_{mf}* permitiu individualizar 13 ambientes costeiros diferentes, sendo que 60% da linha de costa desses ambientes costeiros apresenta um balanço sedimentar erosivo, o que demonstra que mais de metade do arco litoral Caparica-Espichel apresenta um balanço sedimentar erosivo. A subida do nível do mar, as intervenções e ocupação antrópica verificada, bem como a destruição de áreas de praia-duna e consequente desregulação das trocas transversais de sedimentos, são fatores prováveis para esta situação erosiva. A classificação costeira efetuada coloca em evidência que 76% da linha de costa dos 13 ambientes costeiros não apresentam nenhuma situação de abrigo face a situações de temporal provenientes de oeste, noroeste e sudoeste, ou seja, 76% está diretamente exposta aos temporais supracitados.

A avaliação da perigosidade à erosão costeira demonstrou que apenas 21% da linha de costa dos ambientes costeiros apresenta perigosidade baixa. A probabilidade de ocorrência de erosão costeira predominante é a moderada (51%). Contudo, a junção da probabilidade moderada e elevada totaliza um valor bastante significativo – 79%. Esta avaliação demonstrou a importância do balanço sedimentar no processo da erosão costeira.

A avaliação da perigosidade a inundação por temporais revelou que um quarto da linha de costa dos 13 ambientes costeiros apresenta uma probabilidade de ocorrência de

inundação muito elevada, estando este valor associado às áreas de maior ocupação humana. Além disso, quase dois terços da linha de costa dos 13 ambientes costeiros apresenta uma probabilidade de ocorrência superior a moderada (65%).

É importante salientar as incertezas e limitações que acompanham este trabalho. Entre as mais importantes destacam-se a própria *CHWmf* em si, pois apenas representa os sistemas e condições atuais, limitando-a no tempo. Uma alternativa de melhoria seria indicar sub-divisões adicionais (por exemplo, verão inverno, número de temporais, etc.) que podem não ocorrer na atualidade e deste modo tornar os resultados mais abrangentes na sua aplicação. Existem também incertezas na delimitação da área de estudo, que afetam pontualmente a largura das praias, e morfologias de praia (declive). Sendo estas variáveis bastante mutáveis no tempo, estão sempre associadas alterações não previstas nesta metodologia o que também afeta a intemporalidade da *CHWmf*. Esta intemporalidade pode igualmente ser afetada pelo facto de no caso dos litorais intervencionados não ser tido em conta se as medidas de proteção estão a funcionar eficazmente, diminuindo deste modo a perigosidade. Contudo, ao existirem revelam que atualmente o litoral se encontrar em situação de desequilíbrio, comprovado, pelo conhecimento científico e registos que se tem da área em estudo. Subsistem incertezas na utilização de dados preditivos que revelaram-se inadequados à escala local (dados do Windguru) e na introdução de variáveis e subdivisões cuja inclusão é discutível (p.ex.: marés). A inclusão na *CHWmf* de alguns níveis de classificação compósitos, como no caso das Dunas em que se integra não só o sistema litoral, mas também o seu grau de degradação, pode criar alguma redundância ou sobrelevação da perigosidade quando em simultâneo se usa a erosão/equilíbrio como variável independente. No entanto, esse tipo de classificação originou uma desagregação inicial mais precisa e evitou a utilização como variável independente da fauna/flora, que per si também iriam originar quer situações de redundância quer de neutralidade (como acontecem com as marés) o que não auxiliaria a uma diferenciação de perigosidade, objetivo principal da metodologia aplicada.

Seria interessante avaliar a aplicabilidade da *CHW 3.0* a todo o país, ou até mesmo à escala da península Ibérica. Numa escala de estudo nacional ou regional, a aplicação do instrumento de classificação costeira *CHW 3.0* teria outro interesse, já que a sua aplicabilidade à gestão costeira no quadro das alterações climáticas colocaria em evidência a sua utilidade para o ordenamento e gestão do território.

- Alveirinho-Dias, J., Cerveira-Ferreira, O., & Ramos-Pereira, A. (1994). *Estudo sintético de diagnóstico de geomorfologia e da dinâmica sedimentar dos troços costeiros entre Espinho e Nazaré*. Lisboa.
- Andrade, C., Marques, F., & Freitas, M. (2013). *Criação e Implementação de um Sistema de Monitorização no Litoral abrangido pela área de jurisdição da Administração da Região Hidrográfica do Tejo - Relatório Final*. Lisboa.
- Andrade, C., Oliveira-Pires, H., Silva, P., Taborda, R., & Freitas, M. (2006). Zonas costeiras. In Gradiva (Ed.), *Alterações climáticas em Portugal: Cenários, impactos e medidas de adaptação* (1ª edição, p. 506). Lisboa.
- Antunes, C., & Taborda, R. (2009). Sea Level at Cascais Tide Gauge: Data, Analysis and Results. *Journal of Coastal Research*, (56), 218–222.
- Appelquist, L. (2013). Generic framework for meso-scale assessment of climate change hazards in coastal environments. *Journal of Coastal Conservation*, 17(1), 59–74. <https://doi.org/10.1007/s11852-012-0218-z>.
- Appelquist, L., & Balstrøm, T. (2014). Application of the Coastal Hazard Wheel methodology for coastal multi-hazard assessment and management in the state of Djibouti. *Climate Risk Management*, 3, 79–95. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2014.06.002>.
- Appelquist, L., & Balstrøm, T. (2015). Application of a new methodology for coastal multi-hazard-assessment & management on the state of Karnataka, India. *Journal of Environmental Management*, 152, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.12.017>.
- Appelquist, L., Balstrøm, T., & Kirsten, H. (2016). *The Coastal Hazard Wheel decision-support system: Main Manual*. (UNEP, Ed.).
- Appelquist, L., & Halsnæs, K. (2015). The Coastal Hazard Wheel system for coastal multi-hazard assessment & management in a changing climate. *Journal of Coastal Conservation*, 19(2), 157–179. <https://doi.org/10.1007/s11852-015-0379-7>.
- Araújo, M. (2008). Climate, Tectonics and Beach Erosion: the Case of Espinho (NW Portuguese Coast). *Estudos Do Quaternário*, 5, 39–50.
- Bellanova, P., Bahlburg, H., Nentwig, V., & Spiske, M. (2016). Microtextural analysis of quartz grains of tsunami and non-tsunami deposits – A case study from Tirúa (Chile). *Sedimentary Geology*, 343, 72–84. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2016.08.001>.
- Bird, E. (2008). *Coastal Geomorphology. An Introduction*. Chichester: Wiley.

- Bouderbala, A., Remini, B., & Hamoudi, A. (2016). Geoelectrical investigation of saline water intrusion into freshwater aquifers: A case study of Nador coastal aquifer, Tipaza, Algeria. *Geofísica Internacional*, 55(4), 239–253. <https://doi.org/10.19155/geofint.2016.055.4.2>.
- Câmara Municipal de Almada. (2015). *Mapa De Ruído Do Plano De Pormenor Da Fonte Da Telha (Almada)*.
- Carvalho, H., Ponte, C., Veloso, N., Reis, E., Coelho, P., & Moreira da Silva, M. (2016). Risco de intrusão salina e desenvolvimento sustentável - gestão integrada de águas subterrâneas. *Territorium*, 23, 137–152. https://doi.org/10.14195/1647-7723_23_11 RISCO.
- Carvalho, I. (2013). *Impactes do storm surge em Portugal continental. Do clipping da imprensa regional aos dados oceanográficos*. Tese de Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, 92 p.
- Chachadi, A., & Lobo-Ferreira, J. (2005). Assessing aquifer vulnerability to sea-water intrusion using GALDIT method: Part 2 – GALDIT Indicators Description. In *The fourth inter-celtic colloquium on hydrology and management of water resources* (p. 12). Guimarães.
- Coelho, C. (2005). *Riscos de Exposição de Frentes Urbanas para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, 404 p.
- Coelho, C., Silva, R., Veloso-Gomes, F., & Taveira Pinto, F. (2006). A vulnerability analysis approach for the Portuguese West Coast. In *Risk Analysis V: Simulation and Hazard Mitigation* (pp. 251–262). Malta. <https://doi.org/10.2495/RISK060241>.
- Cooper, H., Kohout, F., Henry, H., & Glover, R. (1964). *The flow of fresh water and salt water in the Biscayne Aquifer of the Miami area, Florida*. 161G-C. Washington.
- Costa, P., Andrade, C., Dawson, A., Mahaney, W., Freitas, M., Paris, R., & Taborda, R. (2012). Microtextural characteristics of quartz grains transported and deposited by tsunamis and storms. *Sedimentary Geology*, 275–276, 55–69. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2012.07.013>.
- Costa, P., Andrade, C., Freitas, M., Oliveira, M., Lopes, V., Jouanneau, J., & Moreno, J. (2010). Reconhecimento de um depósito de tsunami na Lagoa dos Salgados (Algarve, Portugal). In *VIII Congresso Nacional de Geologia* (pp. 1–4). Braga.
- Costa, P., Andrade, C., Freitas, M., Oliveira, M., Taborda, R., & Da Silva, C. (2008). High energy boulder deposition in Barranco and Furnas lowlands , western Algarve (south Portugal). In *2nd International Tsunami Fiedl Symposium* (pp. 19–22). Ostuni (Italy) and Ionian Islands (Greece).
- Cruces, A., Lopes, I., Freitas, M., & Andrade, C. (2002). *A geologia no litoral parte II: Da Lagoa de Albufeira a Setúbal. Guia de excursão, Departamento de geologia da Faculdade de*

- Cunha, P., & Dinis, J. (1998). A erosão nas praias do Cabo Mondego à Figueira da Foz (Portugal centro-oeste), de 1995 a 1998. *Territorium*, 5, 31–50. https://doi.org/10.14195/1647-7723_5_3.
- Daveau, S. (1988). A história do Haff-Delta de Aveiro, ou ... As fraquezas do nosso ensino de geografia. *Finisterra*, XXIII(46), 327–349. <https://doi.org/https://doi.org/10.18055/Finis1987>.
- Daveau, S., Almeida, G., Feio, M., Rebelo, F., Moreira da Silva, R., & Sobrinho, A. (1978). Os temporais de Fevereiro/Março de 1978. *Finisterra*, XIII(26), 236–258. <https://doi.org/https://doi.org/10.18055/Finis2252>.
- Davidson-Arnott, R. (2010). *Introduction to coastal processes and geomorphology* (1ª Edição). Nova Iorque: Cambridge University Press.
- Diogo, Z., Bastos, A., Lira, C., Taborda, R., Freire de Andrade, C., Silveira, T., ... Freitas, M. (2014). Impactos morfológicos da tempestade Christina nas praias do litoral centro-oeste de Portugal. *Comunicações Geológicas*, 101(3), 1445–1448.
- Earlie, C., Masselink, G., & Russell, P. (2018). The role of beach morphology on coastal cliff erosion under extreme waves. *Earth Surface Processes and Landforms*, 43(6), 1213–1228. <https://doi.org/10.1002/esp.4308>.
- Ferreira, J., & Laranjeira, M. (2000). Avaliação da vulnerabilidades e risco biofísico em áreas litorais sob pressão antrópica. Contributo metodológico para uma gestão ambiental. *Geolnova*, (2), 153–170.
- Fisher, H., Brown, E., & Warne, W. (1965). *Sea-Water intrusion Oxnard Plain of Ventura County*. Bulletin 63-1. California.
- Font, E., Nascimento, C., Omira, R., Baptista, M., & Silva, P. (2010). Identification of *tsunami*-induced deposits using numerical modeling and rock magnetism techniques: A study case of the 1755 Lisbon *tsunami* in Algarve, Portugal. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 182(3–4), 187–198. <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2010.08.007>.
- Font, E., Veiga-Pires, C., Pozo, M., Nave, S., Costas, S., Ruiz Muñoz, F., ... Rodríguez-Vidal, J. (2013). Benchmarks and sediment source(s) of the 1755 Lisbon *tsunami* deposit at Boca do Rio Estuary. *Marine Geology*, 343, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2013.06.008>.
- Freire, P., & Andrade, C. (2008). Caracterização das praias estuarinas do tejo. In *Actas do 8º congresso da água* (p. 12). Figueira da Foz.
- Freitas, J., & Alveirinho-Dias, J. (2013). 1941 windstorm effects on the Portuguese Coast. What

- lessons for the future? *Journal of Coastal Research*, 1(65), 714–719. <https://doi.org/10.2112/SI65-121>.
- Freitas, J., & Alveirinho-Dias, J. (2015). Erosão costeira: perceções, impactes e estratégias de proteção. Os casos históricos de Espinho e do Furadouro (Portugal). In *O Homem e as Zonas Costeiras* (pp. 182–198). Rio de Janeiro. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2133.5760>.
- Freitas, M., Andrade, C., Cachado, C., Cardoso, A., Monteiro, J., Brito, P., & Rebelo, L. (2006). Coastal land-loss associated with sea-level rise assessed by aerial videotape-assisted vulnerability analysis - the case of mainland Portugal. *Journal of Coastal Research*, (39), 1310–1315.
- Gama, C. (1996). *Caraterização do fenómeno da sobrelevação do nível do mar de origem meteorológica em Portugal continental. Efeito amplificador deste fenómeno sobre as variações volumétricas de sedimentos nas praias da Comporta, S. Torpes, Odeceixe e Arrifana*. Tese de Mestrado em Geologia Dinâmica Externa, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 138p.
- Gama, C., Alveirinho-Dias, J., Ferreira, O., & Taborda, R. (1994). Analysis of storm surge in Portugal between June 1986 and May 1988. *LITTORAL* 94, 2, 381–387.
- Garcia, T., Ferreira, O., Matias, A., & Alveirinho-Dias, J. (2002). Recent Evolution of Culatra Island (Algarve – Portugal). In *Littoral 2002* (p. 6). Porto.
- Gornitz, V. (1990). Vulnerability of the east coast, U.S.A. to future sea level rise. *Jornal of Coastal Research*, 9, 201–237.
- Gornitz, V., Daniels, R., White, T., & Birdwell, K. (1994). The development of coastal risk assessment database: vulnerability to sea-level rise in the U.S southeast. *Journal of Coastal Research*, (12), 327–338.
- Hammar-Klose, E., Pendleton, E., Thieler, E., Williams, S., & Norton, G. (2003). *Coastal Vulnerability Assessment of Cape Cod National Seashore (CACO) to Sea-Level Rise. Open File Report 02-233*. Virginia.
- IPCC (2013). *Climate Change 2013, The physical science basis. Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Nova Iorque, EUA.
- Jallow, B., Barrow, M., & Leatherman, S. (1996). Vulnerability of the coastal zone of The Gambia to sea level rise and development of response strategies and adaptation options. *Climate Research*, 6, 165–177. <https://doi.org/10.3354/cr006165>.
- Jallow, B., Toure, S., Barrow, M., & Mathieu, A. (1999). Coastal zone of The Gambia and the Abidjan region in Cote d'Ivoire: Sea level rise vulnerability, response strategies, and adaptation options. *Climate Research*, 12, 129–136. <https://doi.org/10.3354/cr012129>.
- Jaranović, B. (2017). *Perigosidade associada a temporais no arco litoral Cascais – Cabo*

Espichel. Tese de Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, 132 p.

Jaranović, B., Trindade, J., Ribeiro, J., & Silva, A. (2017). Using a coastal storm hazard index to assess storm impacts in Lisbon. *Int. J. of Safety and Security Eng.*, 7(2), 221–233. <https://doi.org/10.2495/SAFE-V7-N2-221-233>.

Kortekaas, S., & Dawson, A. (2007). Distinguishing *tsunami* and storm deposits: An example from Martinhal, SW Portugal. *Sedimentary Geology*, 200(3–4), 208–221. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2007.01.004>.

Kumar, T., Mahendra, R., Nayak, S., Radhakrishnan, K., & Sahu, K. (2010). Coastal Vulnerability Assessment for Orissa State, East Coast of India. *Journal of Coastal Research*, 26(3), 523–534. <https://doi.org/10.2307/40605480>.

Laranjeira, M., & Ramos-Pereira, A. (2013). Substituição local de *Ammophila Arenaria* por *Medicago Marina* em dunas frontais após pisoteio. *Finisterra*, XLVIII(95), 61–81. <https://doi.org/https://doi.org/10.18055/Finis3132>.

Leatherman, S., Nicholls, R., & Dennis, K. (1995). Aerial videotape-assisted vulnerability analysis: a cost-effective approach to assess sea level rise impacts. *Journal of Coastal Research*, 14, 15–25.

Lira, C., Silva, A., Taborda, R., & Andrade, C. (2016). Coastline evolution of Portuguese low-lying sandy coast in the last 50 years : an integrated approach. *Earth System Science Data*, 8, 265–278. <https://doi.org/10.5194/essd-8-265-2016>.

Lobo-Ferreira, J., Chachadi, A., Diamantino, C., & Henriques, M. (2005). Assessing aquifer vulnerability to seawater intrusion using GALDIT method: Part 1-Application to the Portuguese Aquifer of Monte Gordo. In *The fourth inter-celtic colloquium on hydrology and management of water resources* (p. 12). Guimarães.

Mather, J., Adams, H., & Yoshioka, G. (1964). Coastal Storms of the Eastern United States. *Journal of Applied Meteorology*, 3, 693–706. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1964\)003<0693:CSOTEU>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1964)003<0693:CSOTEU>2.0.CO;2).

Mendoza, E., Jimenez, J., & Mateo, J. (2011). A coastal storms intensity scale for the Catalan sea (NW Mediterranean). *Natural Hazards and Earth System Science*, 11(9), 2453–2462. <https://doi.org/10.5194/nhess-11-2453-2011>.

Micallef, S., Micallef, A., & Galdies, C. (2017). Application of the Coastal Hazard Wheel to assess erosion on the Maltese coast. *Ocean and Coastal Management*, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.06.005>.

Mizanur, R., & Bhattacharya, A. (2014). Saline Water intrusion in coastal aquifers: A case study from Bangladesh. *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)*, 4(1), 2250–3021. <https://doi.org/10.9790/3021-04170713>

- Morais, C., & Abecassis, F. (1978). *Storm surge effects at Leixões*. (LNEC, Ed.). Lisboa.
- Moreira, S., Costa, P., Andrade, C., Ponte Lira, C., Freitas, M., Oliveira, M., & Reichart, G. (2017). High resolution geochemical and grain-size analysis of the AD 1755 *tsunami* deposit: Insights into the inland extent and inundation phases. *Marine Geology*, 390, 94–105. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2017.04.007>.
- Mota-Oliveira, I., & Martins, L. (1991). Obras de defesa e de reconstrução das praias de Espinho. *Recursos Hídricos*, 12, 71–88.
- Mota-Oliveira, I., Valle, A., & Mirande, F. (1982). Littoral problems in the portuguese west coast. In *18th International Conference on Coastal Engineering* (pp. 1950–1969). Cidade do Cabo.
- Nascimento, J., Ribeiro, L., Cunha, L., & Oliveira, R. (2004). Impacto das alterações climáticas nos recursos hídricos subterrâneos - alguns resultados preliminares. In *7º Congresso da Água* (pp. 1–15). Lisboa.
- Neves, M. (2004). *Evolução Actual dos Litorais Rochosos da Estremadura Norte. Estudo de Geomorfologia*. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa, 542 p.
- Nordstrom, K., & Roman, C. (1996). *Estuarine shores: evolution, environments, and human alterations* (1ª Edição). Chichester: Wiley.
- Ocampo-Rios, B., Roy, P., Macías, M., Jonathan, M., & Lozano-Santacruz, R. (2017). *Tsunami* deposits of September 21st 1985 in Barra de Potosí: comparison with other studies and evaluation of some geological proxies for southwestern Mexico. *Geofísica Internacional Álvarez*, 56(1), 57–69. <https://doi.org/10.19155/geofint.2017.056.1.4>.
- Ojeda-Zújar, J., Francoso, J., Cajaraville, D., & Jurado, P. (2009). El uso de las tecnologías de la información geográfica para el cálculo del índice de vulnerabilidad costera (CVI) ante una potencial subida del nivel del mar en la costa andaluza (España). *GeoFocus*, 9, 83–101. Retrieved from http://geofocus.rediris.es/2009/Articulo4_2009.pdf.
- Oliveira, M., Vale, A., & Miranda, F., (1982). Littoral problems in the Portuguese west coast. *Coastal Engineering Proceeding*, 3, 1950-1969.
- Oliveira, S., Catalão, J., Sousa, C., & Alveirinho-Dias, J. (2003). Aplicação de técnicas fotogramétricas e ambientes SIG no estudo do recuo da linha de costa - Área do Forte Novo-Trafal, Algarve. *Finisterra*, XXXVIII(76), 35–49. <https://doi.org/10.18055/Finis1570>.
- Paixão, R. (2011) *Avaliação da vulnerabilidade biofísica do sistema dunar de Peniche-Baleal*. Tese de Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, 150 p.
- Pendleton, E., Barras, J., Williams, S., & Twichell, D. (2010). *Coastal Vulnerability Assessment of*

- the Northern Gulf of Mexico to Sea-Level Rise and Coastal Change. Open-File Report 2010-1146. Virginia.
- Pendleton, E., Hammar-klose, E., Thieler, E., & Williams, J. (2004). *Coastal Vulnerability Assessment of Olympic National Park to Sea-Level Rise*. Open-File Report 04-1021. Virginia.
- Pendleton, E., Thieler, E., Williams, S., & Beavers, R. (2004). *Coastal Vulnerability Assessment of Padre Island National Seashore (PAIS) To Sea-Level Rise*. Open-File Report 2004-1090. Virginia.
- Pendleton, E., Williams, S., & Thieler, E. (2004). *Coastal Vulnerability Assessment of Assateague Island National Seashore (Asis) To Sea-Level Rise*. Open-File Report 2004-1020. Virginia.
- Pereira, C., & Coelho, C. (2013). Mapas de Risco das Zonas Costeiras por Efeito da Ação Energética do Mar. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 13(1), 27–43. <https://doi.org/10.5894/rgci325>.
- Picado, A., Lopes, C., Mendes, R., Vaz, N., & Dias, J. (2013). Storm surge impact in the hydrodynamics of a tidal lagoon: the case of Ria de Aveiro. *Journal of Coastal Research*, 1(65), 796–801. <https://doi.org/10.2112/SI65-135.1>.
- Pinto, C., Taborda, R., & Andrade, C. (2007). Evolução Recente da Linha de Costa no Troço Costeiro Cova do Vapor - S. João da Caparica. In *5ª Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*. Lisboa.
- Piotrowski, A., Szczuciński, W., Sydor, P., Kotrys, B., Rzodkiewicz, M., & Krzysińska, J. (2017). Sedimentary evidence of extreme storm surge or *tsunami* events in the southern Baltic Sea (Rogowo area, NW Poland). *Geological Quarterly*, 61(4), 973–986. <https://doi.org/10.7306/gq.1385>.
- POC (2017). Programa da Orla Costeira Alcobaça-Espichel. *Relatório/proposta de programa*. Amadora.
- Ramos-Pereira, A. (1988). Aspectos do relevo de Portugal. Litorais ocidental e meridional da Península de Setúbal. *Finisterra*, XXII(46), 335–349. <https://doi.org/10.18055/Finis1988>.
- Ramos-Pereira, A. (1996). The beach-cliff system of Vale do Lobo. In *Fifth European Intensive Course on Applied Geomorphology* (pp. 235–238). Lisboa.
- Ramos-Pereira, A. (2001). *O(s) Oceano(s) e as suas Margens* (1ª edição). Lisboa: Insituto de Inovação Educacional.
- Ramos-Pereira, A. (2004). O espaço litoral e a sua vulnerabilidade. *GeolNova (Ambiente E Mudanças Globais)*, 9, 33–43.

- Ramos-Pereira, A. (2006). The western littoral of the Setubal peninsula. In *Portugal: coastal dynamics* (pp. 63–71). Lisboa.
- Ramos-Pereira, A. (2008). *Programa de sistemas litorais: dinâmicas e ordenamento* (1ª edição). Lisboa: Centro de Estudos Geográficos.
- Ramos-Pereira, A., & Laranjeira, M. (2002). Vulnerabilidade dunar avaliada por uma lista de controlo. In Barbosa e Xavier Edit. (Ed.), *Homenagem (in honorium) ao Professor Gaspar Soares de Carvalho* (pp. 161–175).
- Ramos-Pereira, A., Trindade, J., & Araújo-Gomes, J. (2013). Seismite and tsunamiite in urban environment (Lisbon). *Finisterra*, XLVIII(95), 141–147. <https://doi.org/https://doi.org/10.18055/Finis3136>.
- Ramos-Pereira, A., Trindade, J., Araújo-Gomes, J., & Leandro, A. (2015). Vestígios do tsunami de 1755: Um indicador negligenciado no litoral de Portugal continental? In I. da U. de Coimbra (Ed.), *Terramoto de Lisboa de 1755: O que aprendemos 260 anos depois?* (pp. 297–316). Coimbra.
- Rato, D. (2017). *Monitorização da Duna de São João da Caparica*. Tese de Mestrado em Geologia do Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 101 p.
- Rossiter, J. (1954). The north sea storm surge of 31 january and 1 february 1953. *The Royal Society*, 246(915), 371–400. <https://doi.org/10.1098/rsta.1954.0002>.
- Santos, A., Mendes, S., & Corte-Real, J. (2014). Impacts of the storm Hercules in Portugal. *Finisterra*, XLIX(98), 197–220. <https://doi.org/https://doi.org/10.18055/Finis6468>.
- Santos, F., Lopes, A., Moniz, G., Ramos, L., & Taborda, R. (2014). *Gestão da zona costeira - o desafio da mudança*. Lisboa.
- Santos, M., Amaro, V., Ferreira, A., Barboza, A., Figueiredo, M., & Araújo, A. (2015). Metodologia para mapeamento de vulnerabilidade costeira à elevação do nível médio do mar (NMM) em escala local. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 21(4), 691–705. <https://doi.org/10.1590/S1982-21702015000400040>.
- Sappa, G., & Coviello, M. (2012). Seawater Intrusion and Salinization Processes Assesment in a Multistrata Coastal Aquifer in Italy. *Journal of Water Resource and Protection*, 4(11), 954–967. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2012.411111>.
- Silva, A., Lira, C., Andrade, C., Taborda, R., & Freitas, M. (2013). *Análise da evolução da linha de costa em litoral baixo arenoso nos últimos 50 anos*. Lisboa. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3904.6168>.
- Silva, N. (2011). *Storm surge hydrodynamic modelling*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Técnica de Lisboa, 126 p.

- Silva, S., Martinho, M., Capitão, R., Reis, T., Fortes, C., & Ferreira, J. (2017). An index-based method for coastal-flood risk assessment in low-lying areas (Costa de Caparica, Portugal). *Ocean and Coastal Management*, 144, 90–104. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.04.010>.
- Sousa, N. (2015). *Dinâmica da linha de costa e vulnerabilidade à erosão no setor não artificializado do arco litoral Caparica-Espichel*. Tese de Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, 151 p.
- Steers, J. A., Stoddart, D. R., Bayliss-Smith, T. P., Spencer, T., & Durbidge, P. M. (1979). The Storm Surge of 11 January 1978 on the East Coast of England. *The Geographical Journal*, 145(2), 192–205. <https://doi.org/10.2307/634386>.
- Stronkhorst, J., Levering, A., Hendriksen, G., Rangel-Buitrago, N., & Appelquist, L. (2018). Regional coastal erosion assessment based on global open access data: a case study for Colombia. *Journal of Coastal Conservation*, 22(4), 787–798. <https://doi.org/10.1007/s11852-018-0609-x>.
- Summerfield, M. (1991). *Global geomorphology: An introduction to the study of landforms* (1^a Edição). Nova Iorque: Longman scientific & technical.
- Sunamura, T. (1992). *Geomorphology of rocky coasts* (1^a Edição). Chichester: Wiley.
- Taborda, R., & Alveirinho-Dias, J. (1992). Análise da sobrelevação do nível do mar de origem meteorológica durante os temporais de Fevereiro/Março de 1978 e Dezembro de 1981. *Geonovas*, (1), 89–97.
- Taborda, R., Andrade, C., Silva, A., Silveira, T., Lira, C., Freitas, M., & Pinto, C. (2014). Modelo de circulação sedimentar litoral no arco caparica-espichel. *Comunicações Geológicas*, 101(2), 641–644.
- Teixeira, S. (1990). *Dinâmica das praias da península de Setúbal (Portugal)*. Tese de Mestrado em Geologia Económica e Aplicada, Universidade de Lisboa, 189p.
- Thieler, E., & Hammar-Klose, E. (1999). *National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: Preliminary Results for the U.S. Atlantic Coast*. Open-File Report 99-593. Wood Hole, Massachusetts.
- Thieler, E., & Hammar-Klose, E. (2000a). *National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: Preliminary Results for the U. S. Gulf of Mexico Coast*. Open-File Report 00-179. Wood Hole, Massachusetts.
- Thieler, E., & Hammar-Klose, E. (2000b). *National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: Preliminary Results for the U.S. Pacific Coast*. Open-File Report 00-178. Wood

Hole, Massachusetts.

- Trindade, J. (2010). *Monitorização e análise de indicadores da dinâmica de praias expostas* (1ª edição). Lisboa: Centro de Estudos Geográficos.
- Trindade, J., & Ramos-Pereira, A. (2013). Inundation and erosion susceptibility in wave dominated beaches. *Finisterra*, XLVIII(95), 83–104. <https://doi.org/10.18055/Finis3133>.
- Tudor, M. (2017). *Critérios de reconhecimento dos depósitos de inundação tsunamigénica no contexto do ordenamento do território*. Tese de Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, 148 p.
- Tudor, M., & Ramos-Pereira, A. (2015). A dinâmica de uma praia encastrada durante o inverno marítimo 2013-2014. O exemplo da praia da Adraga. In APGEOM (Ed.), *VII Congresso Nacional de Geomorfologia* (Vol. IX, pp. 73–79). Lisboa.
- Valente, F. (2015). *Estudo do Impacte da Erosão Costeira na Frente Marítima de Ovar*. Relatório de estágio, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, 109 p.
- Veloso-Gomes, F., Costa, J., Rodrigues, A., Taveira-Pinto, F., Pais-Barbosa, J., & Neves, L. (2009). Costa da Caparica Artificial Sand Nourishment and Coastal Dynamics. *Journal of Coastal Research*, (56), 678–682.
- Vicente, C., & Clímaco, M. (2012). *Trecho de costa do Douro ao cabo Mondego. Caracterização geral do processo erosivo*. Relatório 253/2012. Lisboa.
- Viles, H., & Spencer, T. (1995). *Coastal problems - geomorphology, ecology and society at the coast* (1ª edição). Londres: Edward Arnold.
- Vousdoukas, M., Voukouvalas, E., Annunziato, A., Giardino, A., & Feyen, L. (2016). Projections of extreme storm surge levels along Europe. *Climate Dynamics*, 47(9–10), 3171–3190. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3019-5>.